

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-058896

(43)Date of publication of application : 28.02.2003

(51)Int.Cl.

G06T 7/60

G01B 11/00

G01B 11/24

G01B 11/26

G06T 7/00

(21)Application number : 2001-244473

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 10.08.2001

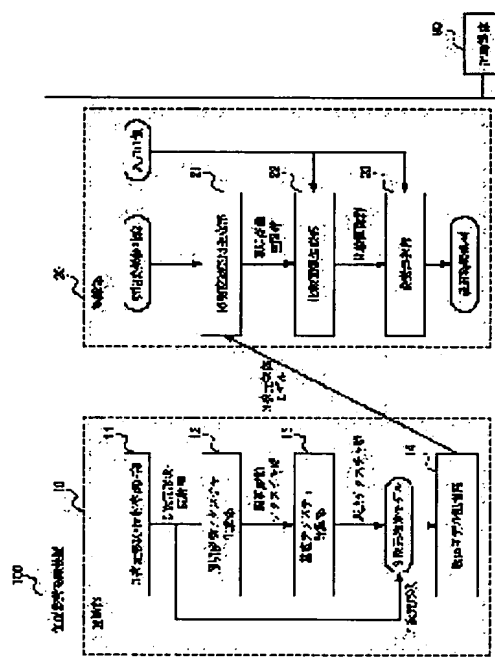
(72)Inventor : ISHIYAMA RUI

## (54) DEVICE, METHOD AND PROGRAM FOR RECOGNIZING POSITIONING ATTITUDE

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a positioning attitude recognizing device for finding a right positioning attitude even when there is no clear feature in the positioning attitude of an object in a recognition target image, fluctuation of illumination conditions or shape or color of the object or when a feature point or position of the feature point can not be exactly and sufficiently extracted from the image of the recognition target.

**SOLUTION:** The device is composed of a registration part 10 equipped with a three-dimensional (3D) form/reflection factor measuring part 11, illumination fluctuation texture generating part 12 for generating base texture, base texture calculating part 13, object model storage part 14 for storing a 3D object model and a base texture group, and a recognition part 20 equipped with an illumination fluctuation space generating part 21 for inputting an initial attitude candidate group, reading the 3D object model from the object model storage part 14 and generating the illumination fluctuation space of the image of an applied attitude candidate, a compare image generating part 22 for generating a compare image most approximate to the image of a recognition target by using each of illumination fluctuation spaces, and an attitude selecting part 23 for selecting a compare image most approximate to the image of the recognition target out of the compare image group and outputting that image as an optimal attitude candidate.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2003-58896  
(P2003-58896A)

(43)公開日 平成15年2月28日(2003.2.28)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 6 T 7/60	1 5 0	G 0 6 T 7/60	1 5 0 B 2 F 0 6 5 1 5 0 P 5 L 0 9 6
G 0 1 B 11/00 11/24 11/26		G 0 1 B 11/00 11/26 G 0 6 T 7/00	H H 3 0 0 E
審査請求 未請求 請求項の数41 O L (全 25 頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願2001-244473(P2001-244473)

(22)出願日 平成13年8月10日(2001.8.10)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社  
東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 石山 晃

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株  
式会社内

(74)代理人 100093595

弁理士 松本 正夫

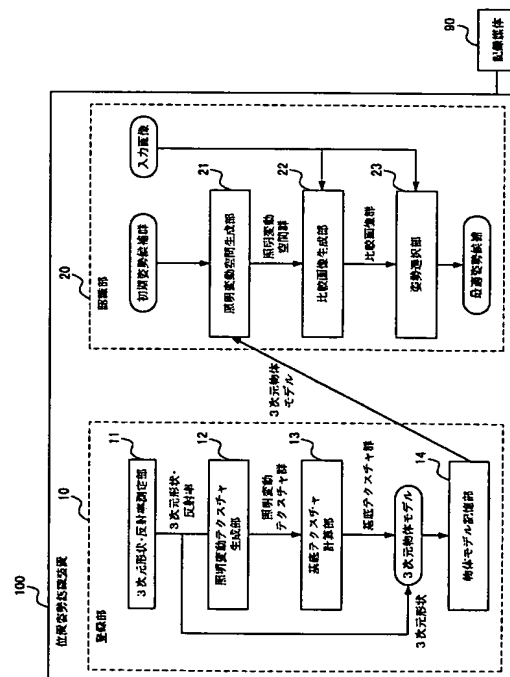
Fターム(参考) 2F065 AA04 AA37 AA53 FF04 JJ03  
JJ19 JJ26 QQ25  
5L096 CA02 FA67 FA69 HA07 JA11

(54)【発明の名称】 位置姿勢認識装置とその位置姿勢認識方法、及び位置姿勢認識プログラム

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 認識対象画像の物体の位置姿勢や照明条件の変動、物体の形状や色に明確な特徴がない、認識対象の画像から十分特徴点や、特徴点の位置を正確に抽出できない場合にも、正しい位置姿勢を求める位置姿勢認識装置を提供する。

【解決手段】 3次元形状・反射率測定部11と、基底テクスチャを生成する照明変動テクスチャ生成部12と、基底テクスチャ計算部13と、3次元物体モデルと基底テクスチャ群を記憶する物体モデル記憶部14とを備える登録部10と、初期姿勢候補群を入力とし、物体モデル記憶部14から3次元物体モデルを読み込み、与えられた姿勢候補の画像の照明変動空間を生成する照明変動空間生成部21と、各照明変動空間を用いて認識対象の画像に最も近い比較画像を生成する比較画像生成部22と、比較画像群の中で最も認識対象の画像に近い比較画像を選択しそれを最適姿勢候補として出力する姿勢選択部23を備える認識部20で構成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 認識対象の画像から物体の位置姿勢を認識する位置姿勢認識装置において、  
前記物体の 3 次元形状と、当該物体の表面の各位置の輝度値とから成る 3 次元物体モデルを生成し、前記 3 次元物体モデルに基づいて、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢を認識することを特徴とする位置姿勢認識装置。

【請求項 2】 前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の候補である姿勢候補に基づいて、前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がある場合の画像の輝度値の照明条件による変動を表す照明変動空間を生成する照明変動空間生成手段と、  
前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がありかつ照明条件が前記認識対象の画像と同等である場合に得られる画像である比較画像を、前記 3 次元物体モデル及び前記照明変動空間に基づいて生成する比較画像生成手段と、  
複数の前記姿勢候補のそれぞれに基づいて生成された各前記比較画像を、前記認識対象の画像と比較して、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する姿勢選択手段を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 3】 前記物体の位置姿勢を示すパラメタの各値を、指定された範囲内において標準化することにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定手段を備え、  
前記姿勢候補群決定手段が生成した複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定することを特徴とする請求項 2 に記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 4】 前記物体の位置姿勢を示す与えられたパラメタの各値を、指定された増減を行なうことにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定手段を備え、  
前記姿勢候補群決定手段が生成した複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定することを特徴とする請求項 2 に記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 5】 認識対象の画像中の特徴点の位置を入力画像特徴点位置として抽出する特徴点位置抽出手段を備え、  
前記姿勢候補群決定手段は、  
前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の情報とに基づいて、複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 に記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 6】 前記特徴点位置抽出手段が抽出した前記入力画像特徴点位置の一部の特徴点を選択した組を、特徴点群として一つ又は複数生成し、  
前記姿勢候補群決定手段は、

前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の当該特徴点組群において選択された前記特徴点とに基づいて、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする請求項 5 に記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 7】 前記特徴点位置抽出手段が抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、指定された増減を行なうことにより一つ又は複数の新たな前記入力画像特徴点位置を生成することを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 に記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 8】 前記姿勢候補群決定手段は、  
定められた前記入力画像特徴点位置に含まれる誤差の範囲である特徴点誤差範囲に基づいて、前記特徴点位置抽出手段が抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、前記特徴点誤差範囲内において標準化することにより、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする請求項 3 から請求項 7 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 9】 (1) 前記姿勢選択手段が、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた姿勢候補を、最適姿勢候補と定める

(2) 前記姿勢候補群決定手段が、前記最適姿勢候補を基に新たな複数の前記姿勢候補を生成する

(3) 新たに生成された複数の前記姿勢候補を基に、前記姿勢選択手段が前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する

上記 (1)、(2)、(3) の一連の処理を順次繰り返し実行し、かつ定められた時点において前記繰り返しを終了させる終了判定手段を備え、

前記繰り返しの終了後、前記姿勢選択手段が、その最終の処理において、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力することを特徴とする請求項 3 から請求項 8 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 10】 前記姿勢選択手段が、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力することを特徴とする請求項 2 から請求項 8 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 11】 前記物体の 3 次元物体モデルを登録する登録部を備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 12】 前記登録部は、前記物体の 3 次元形状と、当該物体表面上の各位置の色又は反射率に相当する画像データを測定する 3 次元形状・反射率測定手段と、  
前記物体の表面各位置の、様々な照明条件の下での輝度値をあらわす照明変動テクスチャ群を生成する照明変動テクスチャ生成手段と、

前記照明変動テクスチャ群全体を近似する基底テクスチャ群を計算する基底テクスチャ計算手段を備え、  
前記物体の 3 次元形状及び前記基底テクスチャ群を、当該物体の 3 次元物体モデルとして登録することを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 13】 前記登録部は、  
前記物体表面上の特徴点の 3 次元位置情報を登録特徴点位置として記憶することを特徴とする請求項 12 に記載の位置姿勢認識装置。

【請求項 14】 物体の位置姿勢を登録する 3 次元物体モデル登録装置において、  
前記物体の 3 次元形状と、当該物体表面上の各位置の色又は反射率に相当する画像データを測定する 3 次元形状・反射率測定手段と、  
前記物体の表面各位置の、様々な照明条件の下での輝度値をあらわす照明変動テクスチャ群を生成する照明変動テクスチャ生成手段と、  
前記照明変動テクスチャ群全体を近似する基底テクスチャ群を計算する基底テクスチャ計算手段を備え、  
前記物体の 3 次元形状及び前記基底テクスチャ群を、当該物体の 3 次元物体モデルとして登録することを特徴とする 3 次元物体モデル登録装置。

【請求項 15】 前記物体表面上の特徴点の 3 次元位置情報を登録特徴点位置として記憶することを特徴とする請求項 14 に記載の 3 次元物体モデル登録装置。

【請求項 16】 認識対象の画像中から物体の位置姿勢を認識する位置姿勢認識方法において、  
前記物体の 3 次元形状と、当該物体の表面の各位置の輝度値とから成る 3 次元物体モデルを生成し、前記 3 次元物体モデルに基づいて、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢を認識することを特徴とする位置姿勢認識方法。

【請求項 17】 前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の候補である姿勢候補に基づいて、前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がある場合の画像の輝度値の照明条件による変動を表す照明変動空間を生成する照明変動空間生成ステップと、  
前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がありかつ照明条件が前記認識対象の画像と同等である場合に得られる画像である比較画像を、前記 3 次元物体モデル及び前記照明変動空間に基づいて生成する比較画像生成ステップと、  
複数の前記姿勢候補のそれぞれに基づいて生成された各前記比較画像を、前記認識対象の画像と比較して、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する姿勢選択ステップを備えることを特徴とする請求項 16 に記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 18】 前記物体の位置姿勢を示すパラメタの各値を、指定された範囲内において標本化することにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定ステップを備え、

生成された複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定することを特徴とする請求項 17 に記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 19】 前記物体の位置姿勢を示す与えられたパラメタの各値を、指定された増減を行なうことにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定ステップを備え、

生成された複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定することを特徴とする請求項 17 に記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 20】 認識対象の画像中の特徴点の位置を入力画像特徴点位置として抽出する特徴点位置抽出ステップを備え、

前記姿勢候補群決定ステップは、  
前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の情報とに基づいて、複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする請求項 18 又は請求項 19 に記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 21】 前記特徴点位置抽出ステップにおいて抽出した前記入力画像特徴点位置の一部の特徴点を選択した組を、特徴点群として一つ又は複数生成し、  
前記姿勢候補群決定ステップは、  
前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の当該特徴点組群において選択された前記特徴点とに基づいて、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする請求項 20 に記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 22】 前記特徴点位置抽出ステップにおいて抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、指定された増減を行なうことにより一つ又は複数の新たな前記入力画像特徴点位置を生成することを特徴とする請求項 20 又は請求項 21 に記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 23】 前記姿勢候補群決定ステップは、定められた前記入力画像特徴点位置に含まれる誤差の範囲である特徴点誤差範囲に基づいて、前記特徴点位置抽出ステップにおいて抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、前記特徴点誤差範囲内において標本化することにより、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする請求項 18 から請求項 22 のいずれか一つに記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 24】 (1) 前記姿勢選択ステップにおいて、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた姿勢候補を、最適姿勢候補と定める  
(2) 前記姿勢候補群決定ステップにより、前記最適姿勢候補を基に新たな複数の前記姿勢候補を生成する

(3) 新たに生成された複数の前記姿勢候補を基に、前記姿勢選択ステップにより、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する

上記 (1)、(2)、(3) の一連の処理を順次繰り返し実行し、かつ定められた時点において前記繰り返しを

終了させる終了判定ステップを備え、  
前記繰り返し終了後、前記姿勢選択ステップが、その最終の処理において、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力することを特徴とする請求項 18 から請求項 23 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 25】 前記姿勢選択ステップが、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力することを特徴とする請求項 17 から請求項 23 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 26】 前記物体の 3 次元物体モデルの情報を登録する登録ステップを備えることを特徴とする請求項 26 から請求項 25 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 27】 前記登録ステップでは、  
前記物体の 3 次元形状と、当該物体表面上の各位置の色又は反射率に相当する画像データを測定する 3 次元形状・反射率測定ステップと、  
前記物体の表面各位置の、様々な照明条件の下での輝度値をあらわす照明変動テクスチャ群を生成する照明変動テクスチャ生成ステップと、  
前記照明変動テクスチャ群全体を近似する基底テクスチャ群を計算する基底テクスチャ計算ステップを備え、  
前記物体の 3 次元形状及び前記基底テクスチャ群を、当該物体の 3 次元物体モデルとして登録することを特徴とする請求項 26 に記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 28】 前記登録ステップでは、  
前記物体表面上の特徴点の 3 次元位置情報を登録特徴点位置として記憶することを特徴とする請求項 27 に記載の位置姿勢認識方法。

【請求項 29】 コンピュータを制御することにより、  
認識対象の画像中から物体の位置姿勢を認識する位置姿勢認識方法において、  
前記物体の 3 次元形状と、当該物体の表面の各位置の輝度値とから成る 3 次元物体モデルを生成し、前記 3 次元物体モデルに基づいて、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢を認識する処理を実行させることを特徴とする位置姿勢認識プログラム。

【請求項 30】 前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の候補である姿勢候補に基づいて、前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がある場合の画像の輝度値の照明条件による変動を表す照明変動空間を生成する照明変動空間生成処理と、  
前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がありかつ照明条件が前記認識対象の画像と同等である場合に得られる画像である比較画像を、前記 3 次元物体モデル及び前記照明変動空間に基づいて生成する比較画像生成処理と、

複数の前記姿勢候補のそれぞれに基づいて生成された各前記比較画像を、前記認識対象の画像と比較して、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する姿勢選択処理を実行させることを特徴とする請求項 29 に記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 31】 前記物体の位置姿勢を示すパラメタの各値を、指定された範囲内において標準化することにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定処理と、

生成された複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する処理を実行させることを特徴とする請求項 30 に記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 32】 前記物体の位置姿勢を示す与えられたパラメタの各値を、指定された増減を行なうことにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定処理と、

生成された複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する処理を実行させることを特徴とする請求項 30 に記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 33】 認識対象の画像中の特徴点の位置を入力画像特徴点位置として抽出する特徴点位置抽出処理を実行させ、

前記姿勢候補群決定処理においては、  
前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の情報とに基づいて、複数の前記姿勢候補を生成する処理を実行させることを特徴とする請求項 31 又は請求項 32 に記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 34】 前記特徴点位置抽出処理において抽出した前記入力画像特徴点位置の一部の特徴点を選択した組を、特徴点群として一つ又は複数生成する処理を実行させ、

前記姿勢候補群決定処理においては、  
前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の当該特徴点組群において選択された前記特徴点とに基づいて、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成する処理を実行させることを特徴とする請求項 33 に記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 35】 前記特徴点位置抽出処理において抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、指定された増減を行なうことにより一つ又は複数の新たな前記入力画像特徴点位置を生成する処理を実行させることを特徴とする請求項 33 又は請求項 34 に記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 36】 前記姿勢候補群決定処理は、  
定められた前記入力画像特徴点位置に含まれる誤差の範囲である特徴点誤差範囲に基づいて、前記特徴点位置抽出処理において抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、前記特徴点誤差範囲内において標準化することに

より、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする請求項 31 から請求項 35 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 37】 (1) 前記姿勢選択処理において、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた姿勢候補を、最適姿勢候補と定める

(2) 前記姿勢候補群決定処理により、前記最適姿勢候補を基に新たな複数の前記姿勢候補を生成する

(3) 新たに生成された複数の前記姿勢候補を基に、前記姿勢選択処理により、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する

上記 (1)、(2)、(3) の一連の処理を順次繰り返し実行し、かつ定められた時点において前記繰り返しを終了させる終了判定処理を実行させ、

前記繰り返しの終了後、前記姿勢選択処理の最終の処理において、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力する処理を実行させることを特徴とする請求項 31 から請求項 36 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 38】 前記姿勢選択処理が、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力する処理を実行させることを特徴とする請求項 30 から請求項 36 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 39】 前記物体の 3 次元物体モデルの情報を登録する登録処理を実行させることを特徴とする請求項 29 から請求項 38 のいずれか 1 つに記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 40】 前記登録処理においては、前記物体の 3 次元形状と、当該物体表面上の各位置の色又は反射率に相当する画像データを測定する 3 次元形状・反射率測定処理と、

前記物体の表面各位置の、様々な照明条件の下での輝度値をあらわす照明変動テクスチャ群を生成する照明変動テクスチャ生成処理と、

前記照明変動テクスチャ群全体を近似する基底テクスチャ群を計算する基底テクスチャ計算処理と、

前記物体の 3 次元形状及び前記基底テクスチャ群を、当該物体の 3 次元物体モデルとして登録する処理を実行させることを特徴とする請求項 39 に記載の位置姿勢認識プログラム。

【請求項 41】 前記登録処理においては、前記物体表面上の特徴点の 3 次元位置情報を登録特徴点位置として記憶する処理を実行させることを特徴とする請求項 40 に記載の位置姿勢認識プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像中に示される物体の認識に関し、特に、認識対象の物体の 3 次元形状や、表面反射率や色情報等の情報を用いて、画像に写っている物体の位置や姿勢を高精度に認識する位置姿勢認識装置とその位置姿勢認識方法、及び位置姿勢認識プログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】本発明の属する技術である画像中に示される物体の位置姿勢の認識技術とは、カメラなどの撮影装置を用いて 3 次元物体を撮影した 2 次元画像を入力として、その画像に写っている物体の位置や姿勢を認識する技術である。

【0003】従来より、物体上の特定の  $n$  個の点の 3 次元空間における位置と画像上の位置の対応が与えられたときに、物体のカメラに対する位置姿勢を計算する問題は、「透視  $n$  点問題」と呼ばれており、数多くの公知の手法が存在する。これらの手法は例えば文献 1 (「An Analytic Solution for the Perspective 4-Point Problem」、Radu Horaud et al., Computer Vision, Graphics and Image Processing, 47, pp.33-44 (1989)) や、文献 2 (「Linear  $N \geq 4$ -Point Pose Determination」、Long Quan and Zhongdan Lan, Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision, 6, pp.778-783 (1998)) などにもまとめられている。

【0004】これら従来の透視  $n$  点問題の手法では、いずれも図 19 のフローチャートに示すように、まず予め処理対象の物体の特徴点の 3 次元位置情報を登録しておく (ステップ 1901)。そして、処理対象の物体の画像の入力を受け付けて (ステップ 1902)、その入力画像に写っている物体特徴点の位置を抽出する (ステップ 1903)。その入力画像から抽出された特徴点の位置に、登録されている処理対象の物体の特徴点の 3 次元位置が該当する物体の位置と姿勢を計算し (ステップ 1904、1905)、最適の姿勢候補を選択して出力する (ステップ 1906)。

【0005】まず、最低 3 点以上について前記対応が与えられれば、最大 4 つの姿勢候補を計算することができる。しかし、3 点の特徴点位置情報だけでは該姿勢候補群から正しい姿勢候補を一意に定めることができないため、通常 4 点以上の対応を用いる。すなわち、4 点以上の内から 3 点を選んで計算した各姿勢候補の中から、残りの点の位置を計算した際に最も近くなる姿勢候補を選択すればよい。

【0006】ところが逆に、3 点より多くの対応が与えられた場合、与えられた特徴点位置情報の誤差がゼロでない限り、全ての点が一致する姿勢パラメタは存在しない。しかし現実には、特徴点位置の抽出を手動で入念に行った場合でさえも、必ず誤差が伴う。したがって、最小二乗などの方法を用いることにより与えられた特徴点群全体に対するモデル当てはめ誤差が最小となる解を求

めるか、誤差が大きいと思われる点を捨てて姿勢を計算する、などの手法が利用されている。

【0007】このように、透視 $n$ 点問題の技術は、いずれも与えられた特徴点群全体に対するモデルの当てはめ誤差を最小化するような姿勢解を求める技術である。また、ここに示されたようにいずれも特徴点の位置情報のみを用いており、画像の濃淡情報自体は用いていない。

【0008】他の従来手法としての文献3（特願2000-257304号「3次元空間内の物体の位置及び向きを計算する方法」）記載の手法は、図20のフローチャートに示されるように、与えられた特徴点位置に誤差が含まれていることを考慮し、誤差の少ない特徴点だけを選択して姿勢計算に使用しようとする技術である。

【0009】文献3の手法では、与えられた特徴点群の中から任意の組み合わせで3点を選んで抜き出し、抜き出したそれぞれの3点の位置を修正しながら多数の姿勢候補を計算し、該姿勢候補群から与えられた特徴点群全体に対する当てはめ誤差が最小となる姿勢解を選び出す。

【0010】他の従来手法としての文献4（特開2000-339468号「3次元データの位置合わせ方法及び装置」）記載の技術も、2次元画像中に写っている物体の位置姿勢の認識に利用可能である。

【0011】文献4記載の手法は、同じ物体を異なる向きから測定した2つの3次元物体形状データの位置姿勢の微小なずれを推定する手法であり、設定したある視点から見た2つの形状データの画像をそれぞれ生成し、該生成した画像上で2つの形状データの対応する特徴点の位置を探索し、姿勢のずれを計算する。一方の形状データから生成した画像を入力画像であると考えれば、2次元画像中の物体の位置姿勢に応用可能である。

【0012】さらに他の従来手法としての文献5（特開平11-051611号「認識対象物体の位置姿勢認識装置及び位置姿勢認識方法」）記載の技術は、円柱など特定形状の対象物体を対象とし、画像から該輪郭線のエッジを抽出し、記憶している3次元形状モデルから生成した該輪郭エッジ画像と比較し、計算された姿勢パラメタの値を修正する。

【0013】さらに他の従来手法としての文献6（特願2000-251772号「物体位置姿勢推定装置及びその方法並びにそれを用いた特徴点位置抽出方法及び画像照合法」）記載の技術は、与えられた初期姿勢データを用いて生成した物体の比較画像を用いて、特徴点の位置周辺の部分画像を切り出してテンプレートとし、その周辺でテンプレートに最も似ている位置を探すことで特徴点の位置を修正し、姿勢を再計算する。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】以下、上述した従来技術における問題点について述べる。

【0015】一般に、認識対象の画像（入力画像）にお

ける物体の位置姿勢や照明条件が大きく変動したり、物体の形状や色に明確な特徴がない場合などに特徴点の位置を正確に抽出することは極めて困難であり、認識対象の画像から抽出された特徴点の位置は誤差を含んでいる。

【0016】特に、対象物体がエッジや角が明確でその検出が容易な多角形のような形状でない場合や、表面の模様の特徴的な点がない場合には抽出誤差が大きくなり、更に、特徴点として使える点の数が少なくなる。

【0017】しかし、前記透視 $n$ 点問題、文献3、文献4、文献5のいずれの手法も、モデルを当てはめたときの計算上の特徴点位置と、認識対象の画像から抽出された画像上の特徴点位置が近くなる姿勢が正しい姿勢であるとして最適解を決定している。したがって、誤差を含んだ特徴点位置情報を元に最適な解を決定しているため、正しい姿勢が求められないという問題があった。

【0018】透視 $n$ 点問題の技術では、入力された各特徴点位置に対する誤差の総和が最小である姿勢を計算するが、それは必ずしも正しい姿勢ではないという問題があった。例えば、一点だけ誤差の大きい点があり、その他の点の誤差がゼロであった場合を考えても、これらの手法では正しい姿勢解を求めることはできない。

【0019】また、特徴点が3点しか抽出できなかった場合や、4点以上抽出できてもそれらの特徴点が同一平面上にあるなど特別な配置にあった場合には、複数の姿勢候補を計算することはできても、その中から正しい姿勢を一意に決定することができない場合があるという問題があった。

【0020】文献3の技術では、原理的に、どの特徴点が誤差の小さい点であり、どの点が誤差の大きい点であるかは入力された特徴点位置データだけでは判別不能であるため、この手法で本当に誤差が少ない特徴点だけを選択することは不可能であるという問題があった。

【0021】また、最適な姿勢であるかどうかの判定を、誤差の伴った特徴点情報に基づいて決定している以上、正しい判別ができずに誤った姿勢候補を正しいものとして選んだり、誤った位置へと特徴点位置を修正した場合に、偶然、当てはめ誤差が最小となって誤った姿勢が求まってしまう場合がある。

【0022】文献4の手法も、認識対象の画像からの特徴点位置の抽出を行い、抽出された特徴点位置を元に姿勢を計算するので、前記文献1、文献2、文献3の手法と同様に正確な姿勢が計算できないことや、特徴点の数が少ない場合には一意に姿勢を決定できないという問題があった。

【0023】文献5の手法は、回転体のように特定の形状の物体のみに適用可能であって複雑な形状の物体には適用できないことや、認識対象の画像から外輪郭線が正確に抽出できなければ誤差を含んだ特徴点位置情報に基づいて姿勢を計算することになるため正しい姿勢を求めら

れないという問題があった。

【0024】文献6の手法は、認識対象の画像の撮影時の照明条件が大きく変動し、特徴点周辺の陰影が変化した場合、比較画像の対応する部位との類似度が低下するため、正しい特徴点位置を探索し特徴点位置を修正することが困難であるという問題があった。

【0025】以上をまとめると、従来の手法には次のような問題があった。

【0026】第1の問題として、物体形状又は表面の文様に、位置姿勢や照明条件が変動してもその画像上での位置の特定が容易な、特徴的な部位がない場合、特徴点の抽出が行えないために姿勢を計算できなかった。

【0027】第2の問題として、特徴点の数が3点しかない場合、又は、特徴点が4点以上あってもそれらが3次元的に特別な配置にある場合に、位置姿勢を一意に決定することができなかった。

【0028】第3の問題として、一般には認識対象の画像から抽出された特徴点位置に誤差が含まれる。したがって、誤差を含む特徴点群データから、誤差の少ない

(又は誤差がない)点を選別することは、正しい特徴点位置が不明である限り不可能であるため正しい姿勢パラメタを求められなかった。誤差を含む特徴点群に対しての当てはめ誤差が最小となる解を求めても、一般には、その解は正しい姿勢パラメタとは一致しなかった。特徴点の位置を修正しながら多数の解を求め、その中から最適な解を選ぶ手法もあるが、誤差を含んだ特徴点の位置情報に基づいて最適解を選択する限り、正しい姿勢解を選び出すことができなかった。

【0029】本発明の目的は、上記従来技術の欠点を解決し、認識対象の画像における物体の位置姿勢や照明条件が大きく変動したり、物体の形状や色に明確な特徴がない場合等における、認識対象の画像から十分な数の特徴点を抽出できなかったり、特徴点の位置を正確に抽出することができない場合においても、正しい位置姿勢を認識することができる位置姿勢認識装置とその位置姿勢認識方法、及び位置姿勢認識プログラムを提供することである。

【0030】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本発明の位置姿勢認識装置は、認識対象の画像から物体の位置姿勢を認識する位置姿勢認識装置において、前記物体の3次元形状と、当該物体の表面の各位置の輝度値とから成る3次元物体モデルを生成し、前記3次元物体モデルに基づいて、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢を認識することを特徴とする。

【0031】請求項2の本発明の位置姿勢認識装置は、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の候補である姿勢候補に基づいて、前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がある場合の画像の輝度値の照明条件による変動を表す照明変動空間を生成する照明変動空間生成手

段と、前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がありかつ照明条件が前記認識対象の画像と同等である場合に得られる画像である比較画像を、前記3次元物体モデル及び前記照明変動空間に基づいて生成する比較画像生成手段と、複数の前記姿勢候補のそれぞれに基づいて生成された各前記比較画像を、前記認識対象の画像と比較して、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する姿勢選択手段を備えることを特徴とする。

【0032】請求項3の本発明の位置姿勢認識装置は、前記物体の位置姿勢を示すパラメタの各値を、指定された範囲内において標本化することにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定手段を備え、前記姿勢候補群決定手段が生成した複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定することを特徴とする。

【0033】請求項4の本発明の位置姿勢認識装置は、前記物体の位置姿勢を示す与えられたパラメタの各値を、指定された増減を行なうことにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定手段を備え、前記姿勢候補群決定手段が生成した複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定することを特徴とする。

【0034】請求項5の本発明の位置姿勢認識装置は、認識対象の画像中の特徴点の位置を入力画像特徴点位置として抽出する特徴点位置抽出手段を備え、前記姿勢候補群決定手段は、前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の情報とに基づいて、複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする。

【0035】請求項6の本発明の位置姿勢認識装置は、前記特徴点位置抽出手段が抽出した前記入力画像特徴点位置の一部の特徴点を選択した組を、特徴点群として一つ又は複数生成し、前記姿勢候補群決定手段は、前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の当該特徴点組群において選択された前記特徴点とに基づいて、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする。

【0036】請求項7の本発明の位置姿勢認識装置は、前記特徴点位置抽出手段が抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、指定された増減を行なうことにより一つ又は複数の新たな前記入力画像特徴点位置を生成することを特徴とする。

【0037】請求項8の本発明の位置姿勢認識装置は、前記姿勢候補群決定手段は、定められた前記入力画像特徴点位置に含まれる誤差の範囲である特徴点誤差範囲に基づいて、前記特徴点位置抽出手段が抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、前記特徴点誤差範囲内において標本化することにより、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする。

【0038】請求項9の本発明の位置姿勢認識装置は、(1)前記姿勢選択手段が、前記認識対象の画像に最も

近いと判定した前記比較画像の生成に用いた姿勢候補を、最適姿勢候補と定める(2)前記姿勢候補群決定手段が、前記最適姿勢候補を基に新たな複数の前記姿勢候補を生成する(3)新たに生成された複数の前記姿勢候補を基に、前記姿勢選択手段が前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する上記(1)、(2)、

(3)の一連の処理を順次繰り返し実行し、かつ定められた時点において前記繰り返しを終了させる終了判定手段を備え、前記繰り返しの終了後、前記姿勢選択手段が、その最終の処理において、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力することを特徴とする。

【0039】請求項10の本発明の位置姿勢認識装置は、前記姿勢選択手段が、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力することを特徴とする。

【0040】請求項11の本発明の位置姿勢認識装置は、前記物体の3次元物体モデルを登録する登録部を備えることを特徴とする。

【0041】請求項12の本発明の位置姿勢認識装置は、前記登録部は、前記物体の3次元形状と、当該物体表面上の各位置の色又は反射率に相当する画像データを測定する3次元形状・反射率測定手段と、前記物体の表面各位置の、様々な照明条件の下での輝度値をあらわす照明変動テクスチャ群を生成する照明変動テクスチャ生成手段と、前記照明変動テクスチャ群全体を近似する基底テクスチャ群を計算する基底テクスチャ計算手段を備え、前記物体の3次元形状及び前記基底テクスチャ群を、当該物体の3次元物体モデルとして登録することを特徴とする。

【0042】請求項13の本発明の位置姿勢認識装置は、前記登録部は、前記物体表面上の特徴点の3次元位置情報を登録特徴点位置として記憶することを特徴とする。

【0043】請求項14の本発明の3次元物体モデル登録装置は、物体の位置姿勢を登録する3次元物体モデル登録装置において、前記物体の3次元形状と、当該物体表面上の各位置の色又は反射率に相当する画像データを測定する3次元形状・反射率測定手段と、前記物体の表面各位置の、様々な照明条件の下での輝度値をあらわす照明変動テクスチャ群を生成する照明変動テクスチャ生成手段と、前記照明変動テクスチャ群全体を近似する基底テクスチャ群を計算する基底テクスチャ計算手段を備え、前記物体の3次元形状及び前記基底テクスチャ群を、当該物体の3次元物体モデルとして登録することを特徴とする。

【0044】請求項15の本発明の3次元物体モデル登録装置は、前記物体表面上の特徴点の3次元位置情報を

登録特徴点位置として記憶することを特徴とする。

【0045】請求項16の本発明の位置姿勢認識方法は、認識対象の画像中から物体の位置姿勢を認識する位置姿勢認識方法において、前記物体の3次元形状と、当該物体の表面の各位置の輝度値とから成る3次元物体モデルを生成し、前記3次元物体モデルに基づいて、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢を認識することを特徴とする。

【0046】請求項17の本発明の位置姿勢認識方法は、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の候補である姿勢候補に基づいて、前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がある場合の画像の輝度値の照明条件による変動を表す照明変動空間を生成する照明変動空間生成ステップと、前記姿勢候補の位置姿勢に当該物体がありかつ照明条件が前記認識対象の画像と同等である場合に得られる画像である比較画像を、前記3次元物体モデル及び前記照明変動空間に基づいて生成する比較画像生成ステップと、複数の前記姿勢候補のそれぞれに基づいて生成された各前記比較画像を、前記認識対象の画像と比較して、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する姿勢選択ステップを備えることを特徴とする。

【0047】請求項18の本発明の位置姿勢認識方法は、前記物体の位置姿勢を示すパラメタの各値を、指定された範囲内において標準化することにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定ステップを備え、生成された複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定することを特徴とする。

【0048】請求項19の本発明の位置姿勢認識方法は、前記物体の位置姿勢を示す与えられたパラメタの各値を、指定された増減を行なうことにより、複数の前記姿勢候補を生成する姿勢候補群決定ステップを備え、生成された複数の前記姿勢候補の中から、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定することを特徴とする。

【0049】請求項20の本発明の位置姿勢認識方法は、認識対象の画像中の特徴点の位置を入力画像特徴点位置として抽出する特徴点位置抽出ステップを備え、前記姿勢候補群決定ステップは、前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の情報とに基づいて、複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする。

【0050】請求項21の本発明の位置姿勢認識方法は、前記特徴点位置抽出ステップにおいて抽出した前記入力画像特徴点位置の一部の特徴点を選択した組を、特徴点群として一つ又は複数生成し、前記姿勢候補群決定ステップは、前記物体の前記特徴点の位置の情報と、前記入力画像特徴点位置の当該特徴点組群において選択された前記特徴点とに基づいて、一つ又は複数の前記姿勢

候補を生成することを特徴とする。

【0051】請求項22の本発明の位置姿勢認識方法は、前記特徴点位置抽出ステップにおいて抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、指定された増減を行なうことにより一つ又は複数の新たな前記入力画像特徴点位置を生成することを特徴とする。

【0052】請求項23の本発明の位置姿勢認識方法は、前記姿勢候補群決定ステップは、定められた前記入力画像特徴点位置に含まれる誤差の範囲である特徴点誤差範囲に基づいて、前記特徴点位置抽出ステップにおいて抽出した前記入力画像特徴点位置のデータを、前記特徴点誤差範囲内において標本化することにより、一つ又は複数の前記姿勢候補を生成することを特徴とする。

【0053】請求項24の本発明の位置姿勢認識方法は、(1)前記姿勢選択ステップにおいて、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた姿勢候補を、最適姿勢候補と定める(2)前記姿勢候補群決定ステップにより、前記最適姿勢候補を基に新たな複数の前記姿勢候補を生成する(3)新たに生成された複数の前記姿勢候補を基に、前記姿勢選択ステップにより、前記認識対象の画像に最も近い前記比較画像を判定する上記(1)、(2)、(3)の一連の処理を順次繰り返し実行し、かつ定められた時点において前記繰り返しを終了させる終了判定ステップを備え、前記繰り返しを終了後、前記姿勢選択ステップが、その最終の処理において、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力することを特徴とする。

【0054】請求項25の本発明の位置姿勢認識方法は、前記姿勢選択ステップが、前記認識対象の画像に最も近いと判定した前記比較画像の生成に用いた前記姿勢候補を、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢の認識結果として出力することを特徴とする。

【0055】請求項26の本発明の位置姿勢認識方法は、前記物体の3次元物体モデルの情報を登録する登録ステップを備えることを特徴とする。

【0056】請求項27の本発明の位置姿勢認識方法は、前記登録ステップでは、前記物体の3次元形状と、当該物体表面上の各位置の色又は反射率に相当する画像データを測定する3次元形状・反射率測定ステップと、前記物体の表面各位置の、様々な照明条件の下での輝度値をあらわす照明変動テクスチャ群を生成する照明変動テクスチャ生成ステップと、前記照明変動テクスチャ群全体を近似する基底テクスチャ群を計算する基底テクスチャ計算ステップを備え、前記物体の3次元形状及び前記基底テクスチャ群を、当該物体の3次元物体モデルとして登録することを特徴とする。

【0057】請求項28の本発明の位置姿勢認識方法は、前記登録ステップでは、前記物体表面上の特徴点の

3次元位置情報を登録特徴点位置として記憶することを特徴とする。

【0058】請求項29の本発明の位置姿勢認識プログラムは、コンピュータを制御することにより、認識対象の画像中から物体の位置姿勢を認識する位置姿勢認識方法において、前記物体の3次元形状と、当該物体の表面の各位置の輝度値とから成る3次元物体モデルを生成し、前記3次元物体モデルに基づいて、前記認識対象の画像中における前記物体の位置姿勢を認識する処理を実行させることを特徴とする。

【0059】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0060】従来の技術では、認識対象の画像(入力画像)から、特徴的な文様や物体形状のエッジその交点といった画像中の物体の特徴点の位置情報(入力画像特徴点位置)を抽出し、3次元物体モデルから計算した特徴点の位置が前記入力画像特徴点位置に最も近くなるような姿勢パラメタを最適な姿勢として求めていた。

【0061】これに対し、本発明では、対象物体が剛体又は準剛体とみなすことができ変形がない場合には、物体の画像の変動要因は姿勢と照明条件の変動だけであり、正しい姿勢パラメタを用いて照明条件による陰影の変動の補正を行って生成した比較画像は、その輝度値が認識対象の画像に一致することを利用する。

【0062】すなわち、従来の技術と比べて本発明は、複数の姿勢候補の中から最適の姿勢を選ぶときに、認識対象の画像から抽出された特徴点の位置情報を基準にするのではなく、画像の輝度値を直接比較する点、及び、それを可能にするために認識対象の画像の撮影時の照明条件の変化による陰影の変動を補正する点、が大きく異なっている。

【0063】本発明では、特徴抽出を行わずに画像の輝度情報を直接比較して、姿勢候補から最適の姿勢を選択することにより、従来の技術のように特徴点位置の抽出誤差に影響されることなく、正しい位置姿勢を認識することができる。

【0064】第1の実施の形態

図1は、本発明の第1の実施の形態による位置姿勢認識装置100の構成を示すブロック図であり、図2は、本実施の形態による位置姿勢認識装置100の処理の概略を示す図であり、図3は、本実施の形態による位置姿勢認識装置100の構成の概略を示すブロック図であり、図4は、本実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【0065】本実施の形態の位置姿勢認識装置100は、プログラム制御されるCPU等で実現され、図1、図3に示すように、位置や姿勢を認識しようとする対象物体に関するデータを予め記憶しておくための登録部10と、実際に撮影された画像から物体の位置や姿勢を認

識する認識部20を備える。

【0066】登録部10は、物体の3次元形状、及び、物体表面の色や反射率を測定する3次元形状・反射率測定部11と、照明条件の変動による物体表面各位置の陰影を表す照明変動テクスチャを生成する照明変動テクスチャ生成部12と、テクスチャの照明変動全体を縮約表現するための基底テクスチャ群を計算する基底テクスチャ計算部13と、前記物体の3次元形状と前記基底テクスチャ群をまとめて3次元物体モデルとして記憶する物体モデル記憶部14を備える。

【0067】3次元形状・反射率測定部11は、物体の3次元形状と、物体の表面の反射率を測定する（ステップ110）。

【0068】3次元形状・反射率測定部11による物体の3次元形状と、物体の表面の反射率の測定方法には、様々な測定装置や手法を用いることができる。例えば一例として、物体の3次元形状を、文献7（特願平11-123687号）記載の3次元形状測定装置の技術を用いて測定することができ、またこの他にも様々な3次元形状測定装置や手法を適用することができる。また、物体表面の反射率においては、前記文献7の3次元形状測定装置が測定するテクスチャ画像をそのまま代用することができる。

【0069】照明変動テクスチャ生成部12は、前記3次元形状を用いて物体表面上の各点P(x, y, z)に対応するテクスチャ座標系(s, t)を定義する（ステップ120）。照明変動テクスチャ生成部12による、該テクスチャ座標系の設定方法には様々な手法が利用可能である。その一例として本実施の形態においては、図16に示すように、物体の重心を中心として物体を覆う球を考え、物体表面上の各点Pを、重心を中心として前記球表面上へ投影し、投影された点Qの緯度経度(s, t)をテクスチャ座標とする手法を利用する。しかし、この他にも様々な装置や手法が利用可能である。

【0070】ここで、本実施の形態の照明変動テクスチャ生成部12の、テクスチャ座標系の設定処理を詳細に説明する。

【0071】本実施の形態の照明変動テクスチャ生成部12は、各点P(s, t)の画像上での輝度値を表すテクスチャT(s, t)を、照明条件jを様々に変化させながら多数生成し、これを照明変動テクスチャ群{T}(s, t)として出力する。ここで、輝度値の計算には様々なコンピュータグラフィックスの手法を応用して適用することが可能であるが、一例として物体表面の反射特性をLambertianモデルで近似し、照明が無限に遠くにあると仮定した以下のような手法を用いる。

【0072】まず、前記3次元形状データを用い、物体表面の各点P(s, t)の法線ベクトルを計算する。そして、各点P(s, t)の法線ベクトルと反射率d(s, t)とを用いて、指定された方向（緯度、経度）

の点光源を受けた場合の、そのP(s, t)の点の輝度値T(s, t)を次の数1の式により求める。

【数1】

$\vec{n}(s, t)$  : 点P(s, t)の法線ベクトル

$d(s, t)$  : 点P(s, t)の反射率

$\vec{l}$  : 点光源ベクトル

$e(s, t) = \begin{cases} 0: \text{点P(s, t)が}\vec{l}\text{方向の光源により影になる。} \\ 1: \text{点P(s, t)が}\vec{l}\text{方向の光源により影にならない。} \end{cases}$

⇒

$T(s, t) = d(s, t)e(s, t)\vec{n}(s, t)\vec{l}$  : 点P(s, t)の輝度値

ここで、e(s, t)は、点P(s, t)が影になるかどうかで0か1の値をとる関数とする。影の判定は、点Pから光源ベクトルの方向への半直線が物体と交差するかどうかを、光線追跡法の技術などを用いて判定すればよい。

【0073】基底テクスチャ計算部13は、前記照明変動テクスチャ群{T}を用いて、任意の照明条件でのテクスチャを包含する部分空間の基底である基底テクスチャ群{G<sub>i</sub>}を計算する（ステップ130）。

【0074】各基底テクスチャG<sub>i</sub>の計算は、数2に示すように、照明変動テクスチャ群{T}の各画素の輝度値を並べた縦ベクトルを横に並べた行列の共分散行列の、固有ベクトルと固有値を求める。

【数2】

$\vec{t}_j$  : T<sub>j</sub>の各画素の輝度値を並べた縦ベクトル

$\vec{g}_i$  :  $\vec{t}_j$ を横に並べた行列の共分散行列の固有ベクトル

$\lambda_i$  : 各 $\vec{g}_i$ の固有値

(i = 1, 2, 3, ..., N)

ここで、固有値{λ<sub>i</sub>}は、その値の大きい順にi = 1, 2, 3, ..., Nとする。

【0075】そして、求められた固有ベクトルの内に必要な数n個を取り、これを基底テクスチャ群{G<sub>i</sub>} (i = 1, 2, 3, ..., n)として出力する。取り出す個数“n”の決定には、例えば、固有値の累積寄与率Rとして0.99(99%)などの値を設定して、次の数3の式を満たすようにnを設定する等の方法を用いることができる。

【数3】

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \geq R$$

【0076】物体モデル記憶部14では、前記3次元形状と、前記基底テクスチャ群{G<sub>i</sub>}を記憶しておく（ステップ140）。

【0077】認識部20では、カメラ等の撮像装置を用いて撮影された位置や姿勢を認識しようとする物体の2次元画像である入力画像と、物体の位置姿勢の候補として与えられる姿勢候補群を入力とし、前記入力画像中に写っている物体の位置として最も正しい姿勢候補である最適姿勢候補を、位置姿勢の認識結果として出力する。

【0078】認識部20は、前記姿勢候補群を入力とし、物体モデル記憶部14から物体の3次元物体モデル

を読み込み、与えられた姿勢候補の位置姿勢に物体があるときの画像の輝度値の照明条件による変動を表す照明変動空間を生成する照明変動空間生成部 21 と、各照明変動空間を用いて入力画像に最も近い画像として比較画像を生成する比較画像生成部 22 と、前記比較画像群の中で最も入力画像に近い比較画像を選択し該画像を生成する姿勢候補を最適姿勢候補として出力する姿勢選択部 23 を備える。

【0079】まず、与えられた姿勢候補群のそれぞれの姿勢候補に対して、照明変動空間生成部 21、及び比較画像生成部 22 が処理を行う（ステップ 210、220）。

【0080】図 5 は、本実施の形態の照明変動空間生成部 21 の構成を示すブロック図であり、図 6 は、本実施の形態の照明変動空間生成の処理を説明するためのフローチャートである。本実施の形態の照明変動空間生成部 21 は、図 5 に示すように投影変換決定部 21-1 と、基底テクスチャ投影部 21-2 を備えている。

【0081】投影変換決定部 21-1 は、前記姿勢候補の位置姿勢に物体がある場合の物体表面の各点 P (s, t) の画像上での座標 (u, v) を計算し、画像座標 (u, v) からテクスチャ座標 (s, t) への変換 f : (u, v) → (s, t) を求め、座標変換として出力する（ステップ 603）。当然ながら、この変換は画像の画素の内物体の領域である画素についてのみ求めればよい。

【0082】この処理には様々な手法を用いることができるが、一例として次のような手法を用いることができる。物体の 3 次元形状データと、表面の色情報、及び位置姿勢が決まれば、一般的なコンピュータのグラフィクス標準機能を用いて該位置姿勢での物体の画像を描画することができる。

【0083】ここで、物体表面各点の色を、その点のテクスチャ座標 (s, t) と 1 対 1 で対応するように設定し、描画を行えば、描画された画像の各画素 (u, v) の色から (u, v) → (s, t) 対応関係を求めることができる。この方法はあくまで一例であり、その他様々な手法が適用可能であることはいうまでもない。

【0084】基底テクスチャ投影部 21-2 は、前記座標変換を用いて基底画像 B<sub>i</sub> (u, v) を次式によって計算する（ステップ 604）。

$$B_i(u, v) = G_i(f(u, v)), \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

計算された基底画像群 {B<sub>i</sub>} をまとめて照明変動空間 S として出力する。

【0085】比較画像生成部 22 は、前記照明変動空間 S を用いて、比較画像を、照明変動空間 S 内にありかつ入力画像に最も近い画像として生成する（ステップ 220）。この照明変動空間 S 内にある入力画像に最も近い比較画像を生成する方法には、例えば数 4 に示すよう

に、比較画像を示す係数 {a<sub>i</sub>} の値を最小二乗法によって求める等の方法を用いることができる。

【数 4】

$\tilde{C}$  : 比較画像

$\tilde{I}_q$  : 入力画像

$\tilde{b}_i$  : 基底画像 B<sub>j</sub> の画素値を縦に並べたベクトル

$$\{a_i\} : \tilde{C} = \sum_{i=1}^n a_i \tilde{b}_i \text{ により比較画像を示す係数であって、} \\ |\tilde{I}_q - \tilde{C}| \text{ を最小にするもの。}$$

【0086】姿勢選択部 23 は、前記姿勢候補群の中の各姿勢候補 j について生成した前記比較画像の中で、最も入力画像との類似度の高い比較画像 C<sub>j</sub> に対応する姿勢候補 j を、最適姿勢候補として出力する（ステップ 230）。

【0087】入力画像 I<sub>q</sub> と各比較画像との類似度は、画像の輝度値を比較することにより数 5 で計算する d<sub>j</sub> の値を用いて、判定することができる。数 5 の場合においては、d<sub>j</sub> の値が小さいほど類似度が高いことになるので、d<sub>j</sub> の値の最も値の小さい比較画像を生成する姿勢候補 j を最適姿勢候補とする。

【数 5】

j : 姿勢候補

$\tilde{C}_j$  : 姿勢候補 j における比較画像

$\tilde{I}_q$  : 入力画像

$$d_j = |\tilde{I}_q - \tilde{C}_j|$$

【0088】この類似度の計算方法はあくまで一例であり、この他に、類似度として画像の相関値を用いたり、比較画像と入力画像をそれぞれぼかしたりエッジを強調するなどの特徴抽出や画像処理を加えた後で類似度を計算するなど、様々な方法が適用可能である。

【0089】そして、本実施の形態においては、姿勢選択部 23 において最適姿勢候補として選択された姿勢を、入力画像中の物体の姿勢の認識結果として出力する（ステップ 290）。

【0090】以上説明したように、本実施の形態によれば、画像の輝度値を直接比較して物体の正しい位置姿勢を判定することができる。このため、入力画像における物体の位置姿勢や照明条件が大きく変動したり、物体の形状や色に明確な特徴がない場合等における、入力画像から十分な数の特徴点を抽出できなかったり、特徴点の位置を正確に抽出することができない場合においても、正しい位置姿勢を認識することができる。

【0091】第 2 の実施の形態

図 7 は、本発明の第 2 の実施の形態による位置姿勢認識装置 100a の構成を示すブロック図であり、図 8 は、本実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【0092】本実施の形態は、姿勢候補が複数の候補として離散的に与えられるのではなく、与えられた姿勢とその誤差あるいは変動の範囲として指定されたり、あるいは位置と姿勢の各パラメタの指定された範囲として指定するように、一つ又は複数の連続的な領域として姿勢候補が与えられた場合に、その該姿勢候補領域内で最適な姿勢を求める実施の形態である。

【0093】このため本実施の形態では、第1の実施の形態の位置姿勢認識装置100の構成に加えて、認識部20aに姿勢候補群決定部26を備えている。

【0094】姿勢候補群決定部26は、姿勢候補として、位置姿勢を示すパラメタの値とその位置姿勢からの誤差あるいは変動の範囲が与えられた場合には、その指定された範囲内で、姿勢候補の各パラメタを変動させることにより得られる複数の姿勢候補を生成し、姿勢候補群として出力する（ステップ260）。

【0095】また、姿勢候補として、位置姿勢を示すパラメタの範囲が与えられた場合には、その指定された範囲内で、位置姿勢の各パラメタをランダムに、又は、適当な間隔で標本化することにより得られる複数の姿勢候補を生成し、姿勢候補群として出力する（ステップ260）。

【0096】本実施の形態の他の処理は、全て第1の実施の形態と同様である。

【0097】以上説明したように、本実施の形態によれば、第1の実施の形態の効果に加えて、連続的な領域として姿勢候補が与えられた場合にも対応し、その指定された姿勢候補の範囲の中から、最適の姿勢候補を選択し、入力画像中の物体の姿勢の認識結果として出力することができる。

【0098】第3の実施の形態

図9は、本発明の第3の実施の形態による位置姿勢認識装置100bの構成を示すブロック図であり、図10は、本実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【0099】本実施の形態は、第2の実施の形態と同様に、一つの姿勢候補とその誤差あるいは変動の範囲、あるいは、位置姿勢を示す各パラメタの範囲というように一つ又は複数の連続的な領域として与えられた場合に、該姿勢候補領域内で最適な姿勢を求める実施の形態である。

【0100】しかし、第2の実施の形態では、正確な姿勢パラメタを求めるためには、誤差範囲全体をできるだけ細かく区切って標本化したり、多数の候補を計算する必要があった。これは、与えられた誤差範囲が大きい場合には、計算量が多くなるという問題がある。

【0101】そこで、本実施の形態では、姿勢候補の各パラメタを予め決めた少しの量ずつ変動させて複数の姿勢候補を生成し、その中から最適な候補を選択し、その最適姿勢候補を再び姿勢候補として認識処理を繰り返す

ことにより、徐々に最適姿勢候補を求めていくことを特徴とする。

【0102】この最適姿勢候補を繰り返し求めていく処理は、予め定められた適当な回数の繰り返しを終えた段階や、どのパラメタを変動させても姿勢候補より良い姿勢パラメタが得られなくなった時点等において、その処理を打ち切ることとする。

【0103】本実施の形態では、第2の実施の形態の認識部20が、始めに与えられた初期の姿勢候補を基に認識結果として出力する最適姿勢候補を、これを再び初期の姿勢候補に置き換えて認識処理を繰り返すことを特徴とする。このため、第2の実施の形態の構成に加えて、認識処理の繰り返しの終了を判定する終了判定部28を備えている。

【0104】終了判定部28は、適当な回数の繰り返しを終えた段階、あるいは、どのパラメタを変動させても姿勢候補より良い姿勢パラメタが得られなくなった時点で認識処理の繰り返しの打ち切る（ステップ280）。また、それ以外の場合には、最適姿勢候補を姿勢候補として置き換えて、姿勢候補群決定部26以下の処理を繰り返し行う。

【0105】この他の処理は全て第2の実施の形態と同様である。

【0106】以上説明したように、本実施の形態によれば、第2の実施の形態の効果に加えて、認識結果として出力する最適姿勢候補を再び姿勢候補に置き換えて認識処理を繰り返すことができるため、より精度の高い認識結果を得ることができる。

【0107】第4の実施の形態

図11は、本発明の第4の実施の形態による位置姿勢認識装置100cの構成を示すブロック図であり、図12は、本実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【0108】本実施の形態では、画像の濃淡等の輝度値の情報のみではなく、位置や姿勢を物体の特徴的な見え方をする部位（特徴点）の位置情報も、参照する。しかし、従来の技術とは異なり、最適な姿勢解の選択・決定は、特徴点位置ではなく、画像の濃淡情報をそのまま比較することにより行う。

【0109】本実施の形態では、第1の実施の形態の構成に加えて、登録部10cに、物体の特徴的な部位である物体特徴点の3次元位置を入力する特徴点3次元位置入力部15と、該特徴点3次元位置を記憶する特徴点3次元位置記憶部16を備えている。

【0110】なお、3次元形状・反射率測定部11、照明変動テクスチャ生成部12、基底テクスチャ計算部13、物体モデル記憶部14の処理は、第1の実施の形態と全く同様である。

【0111】特徴点3次元位置入力部15では、測定した前記3次元形状と反射率を参照し、物体表面上で形状

や表面の反射率が急激に変化している部位や、特徴的な形状・文様がある部位を特徴点とし、その3次元の位置座標を入力する(ステップ150)。

【0112】この特徴点としては、エッジの交点や曲率の最大点、円弧の中心などの位置はもちろん、直線の傾きと位置など様々な位置特徴量を用いることが可能である。この特徴点の位置の入力は、ユーザがコンピュータを用いて画面に表示された物体を見ながら手で位置を指示して行うこともできるし、自動的に行う様々な手法を利用することももちろん可能である。

【0113】特徴点3次元位置記憶部16は、前記入力された特徴点3次元位置を記憶する(ステップ160)。

【0114】本実施の形態の認識部20cは、第1の実施の形態の構成に加えて、入力画像における前記物体特徴点の位置を抽出する特徴点位置抽出部24と、該入力画像特徴点位置と前記特徴点3次元位置を用いて物体の姿勢の候補を計算する姿勢計算部25を備えている。

【0115】なお、照明変動空間生成部21、比較画像生成部22、姿勢選択部23の処理は、第1の実施の形態と全く同様である。

【0116】特徴点位置抽出部24では、特徴点3次元位置記憶部16に記憶されている各物体特徴点の入力画像における位置を抽出し、入力画像特徴点位置として出力する(ステップ240)。この物体特徴点の位置の入力は、ユーザがコンピュータを用いて画面に表示された入力画像を見ながら手で位置を指示して行うこともできるし、自動的に行う様々な技術を適用可能である。

【0117】姿勢計算部25では、特徴点3次元位置記憶部16から特徴点3次元位置を読み込み、前記入力画像特徴点位置に前記特徴点3次元位置にある物体特徴点が投影されるような、位置姿勢のパラメタを計算し、計算された位置姿勢パラメタ群を姿勢候補群として出力する(ステップ250)。

【0118】この処理には、前記透視n点問題の様々な技術を利用することが可能である。物体特徴点の位置が、3点について抽出できた場合、また、4点以上抽出できる場合でも同一平面上にあったり3次元的に特別な配置にある場合、最大4つの姿勢候補が計算される。そこで、この最大4つの姿勢候補を姿勢候補群として出力する。

【0119】上述したように、本実施の形態によれば、特徴点の位置情報だけではこれらの解の内どれが正解であるかを判定できない場合においても、本発明を用いることでどれが正解であるかを決定することができる。また、第1の実施の形態の効果に加えて、更に特徴点の位置情報をも位置姿勢の認識のために用いることにより、より精度の高い認識結果を得ることができる。

【0120】第5の実施の形態

図13は、本発明の第5の実施の形態による位置姿勢認

識装置100dの構成を示すブロック図であり、図14は、本実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【0121】本発明の第5の実施の形態は、第2の実施の形態において更に、姿勢候補の計算を入力画像の特徴点の位置に基づいて行う点と、及び姿勢候補の誤差の範囲を、入力画像からの特徴点位置の抽出誤差に基づいて決定する点を特徴とする。

【0122】登録部10dには、第2の実施の形態の構成に加えて、物体の特徴的な部位である物体特徴点の3次元位置を入力する特徴点3次元位置入力部15と、該特徴点3次元位置を記憶する特徴点3次元位置記憶部16を備えている。また、本実施の形態の登録部10dの構成とその処理は、第4の実施の形態と全く同様である。

【0123】本実施の形態の位置姿勢認識装置100dは、第2の実施の形態の構成に加えて、認識部20dに、入力画像における前記物体特徴点の位置を抽出すると共にその抽出誤差の範囲を出力する特徴点位置抽出部24と、前記特徴点位置と抽出誤差を用いて計算される姿勢の誤差範囲を決定する姿勢範囲決定部27を備えることを特徴とする。

【0124】特徴点位置抽出部24は、特徴点3次元位置記憶部16に記憶されている各物体特徴点の入力画像における位置又はその存在範囲を抽出し、入力画像特徴点位置として出力する(ステップ240)。また同時に、抽出した特徴点の位置の誤差の範囲を特徴点誤差範囲として出力するここで、物体特徴点の位置の入力処理は、ユーザがコンピュータを用いて画面に表示された入力画像を見ながら手で位置又は範囲を指示して行う方式や、自動的に特徴点を検出する様々な技術を適用することが可能である。これにも様々な手法が適用可能であるが、前記の手動による入力作業を繰り返し行って誤差の範囲を求めたり、事前に評価実験を行ってどの程度の誤差が生じるかを予め求めておいたり、入力画像のノイズやぼけの量、各物体特徴点のエッジの明確さや特徴として用いている形状の大きさなどから決定することもできる。

【0125】姿勢範囲決定部27は、前記特徴点誤差範囲を用いて、前記姿勢計算部25で用いたのと同様に透視n点問題の技術などを利用して計算される姿勢候補のパラメタが、誤差として変動する可能性のある範囲を推定し、姿勢候補範囲として出力する(ステップ270)。

【0126】この処理には様々な手法が適用可能であるが、一例として数値シミュレーションを用いる手法が利用可能である。これは、前記特徴点誤差範囲内で前記入力画像特徴点位置を変化させながら多数の姿勢候補を計算し、その存在範囲を求めるものである。この他にも、姿勢の計算に用いる計算式を解析して誤差範囲を求めた

り、様々な手法が適用可能である。

【0127】また、姿勢候補群決定部26以下の処理（ステップ260～290）は、全て第2の実施の形態と同様である。

【0128】次に、本発明の様々な実施例を説明する。

【0129】第1の実施例

図1に示した第1の実施の形態を適応した第1の実施例について、その処理例である図16、図17を参照して説明する。なお、本実施例では、姿勢を認識する対象物体として人間の顔を対象とする例について説明するが、

任意の物体に適用可能であることはいうまでもない。  
【0130】図1に示されるように、登録部10には、予め物体の3次元形状と基底テクスチャ群を3次元モデルとして記憶しておく。登録部10では、例えば、ビデオカメラ等の撮像装置を用いて2次元の画像を撮影し、姿勢認識処理を行う処理装置に取り込む。

【0131】本実施例の登録部10は、前述のように3次元形状・反射率測定部11と、照明変動テクスチャ生成部12と、基底テクスチャ計算部13と、物体モデル記憶部14を備えており、本実施例では、特に照明変動テクスチャ生成部12と、基底テクスチャ計算部13の処理の実施例を説明する。

【0132】照明変動テクスチャ生成部12は、前記3次元形状を用いて物体表面上の各点P(x, y, z)に対応するテクスチャ座標系(s, t)を定義する。

【0133】本実施例では、テクスチャ座標系の設定方法として、図16に示すように、顔の3次元形状データの重心を中心として顔全体を覆う適当な大きさの球を考え、物体表面上の各点Pを、重心を中心として前記球表面上へ投影し、投影された点Qの緯度経度(s, t)をテクスチャ座標とする手法を用いる。

【0134】本実施例の場合においては、顔の後ろ側の頭部の形状データを利用しないこととし、(s, t) = (0, 0)を顔の正面の方向であるように設定し、s, tはそれぞれ-90°から90°までの範囲であるとする。

【0135】照明変動テクスチャ生成部12は、各点P(s, t)の画像上での輝度値を表すテクスチャT(s, t)を、照明条件を様々に変化させながらN枚生成し、照明変動テクスチャ群T<sub>k</sub>(s, t)として出力する。例えば、無限遠にある一つの点光源を考え、図17に示すような物体を中心とした球面の経度、緯度をあらわす(θ, φ)の角度で光源の方向を示すとし、θとφを10°おきに-90°から90°まで変化させ、N = 361種類の照明条件群を設定する。この光源の種類、照明方向の設定間隔や範囲の決め方は一例であり、より均一に方向を決めるために種々変更することも可能である。

【0136】輝度値の計算には、様々なコンピュータグラフィックスの手法を応用して適用することが可能であ

り、本実施例では、物体表面の反射特性をLambertianモデルで近似し、照明が無限に遠くにあると仮定した以下のような手法を用いる。

【0137】まず、前記3次元形状データを用い、物体表面の各点P(s, t)の法線ベクトルを計算する。そして、各点P(s, t)の法線ベクトルと反射率d(s, t)とを用いて、指定された方向（緯度、経度）の点光源を受けた場合の、そのP(s, t)の点の輝度値T<sub>k</sub>(s, t)を、数1の式と同様にして、次の数6の式により求める。数6では、N種類(k = 1, 2, ..., N)の、球の中心から各方向への方向を表すベクトルを用いている。

【数6】

$\vec{n}(s, t)$  : 点P(s, t)の法線ベクトル

$d(s, t)$  : 点P(s, t)の反射率

$\vec{L}_k$  : 点光源ベクトル (k=1, 2, ..., N)

$$e_k(s, t) = \begin{cases} 0: \text{点P(s, t)が}\vec{L}_k\text{方向の光源により影になる。} \\ 1: \text{点P(s, t)が}\vec{L}_k\text{方向の光源により影にならない。} \end{cases}$$

⇒

$T_k(s, t) = d(s, t) e_k(s, t) \vec{n}(s, t) \cdot \vec{L}_k$  : 点P(s, t)の輝度値

ここで、 $e_k(s, t)$ は、点P(s, t)が影になるかどうかで0か1の値をとる関数とする。

【0138】基底テクスチャ計算部13は、前記照明変動テクスチャ群{T<sub>j</sub>}を用いて、任意の照明条件でのテクスチャを包含する部分空間の基底である基底テクスチャ群{G<sub>i</sub>}を計算する。各基底テクスチャG<sub>i</sub>の計算は、数7に示すように、照明変動テクスチャ群{T<sub>j</sub>}の各画素の輝度値を並べた縦ベクトルを横に並べた行列の共分散行列の、固有ベクトルと固有値を求める。

【数7】

$\vec{t}_k$  : T<sub>k</sub>の各画素の輝度値を並べた縦ベクトル

$\vec{g}_i$  :  $\vec{t}_k$ を横に並べた行列の共分散行列の固有ベクトル

$\lambda_i$  : 各 $\vec{g}_i$ の固有値

(i = 1, 2, 3, ..., N)

ここで、固有値{λ<sub>i</sub>}は、その値の大きい順にi = 1, 2, 3, ..., Nとする。

【0139】そして、求められた固有ベクトルの内で必要な数n個を取り、これを基底テクスチャ群{G<sub>i</sub>} (i = 1, 2, 3, ..., n)として出力する。取り出す個数“n”の決定には、例えば、固有値の累積寄与率Rとして0.99(99%)などの値を設定して、(数3の式と同様にして)次の数8の式を満たすようにnを設定する。

【数8】

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \geq R$$

【0140】このように、取り出された固有ベクトルの各要素の値を、その要素と対応する画素の輝度値として

持つテクスチャを基底テクスチャ  $G_i$  として出力する。

【0141】次に、認識部 20 の実施例を説明する。認識部 20 は、前述のように照明変動空間生成部 21 と、比較画像生成部 22 と、姿勢選択部 23 を備えており、本実施例では、特に、照明変動空間生成部 21 の処理の実施例を説明する。

【0142】本実施例では、位置と姿勢のパラメタとしては、平行移動量を表す  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  及び、回転を表す  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  を用いることとする。

【0143】照明変動空間生成部 21 は、前述のように投影変換決定部 21-1 と、基底テクスチャ投影部 21-2 を備えている。

【0144】投影変換決定部 21-1 は、前記姿勢候補の位置姿勢に物体がある場合の物体表面の各点  $P(s, t)$  の画像上での座標  $(u, v)$  を計算し、画像座標  $(u, v)$  からテクスチャ座標  $(s, t)$  への変換  $f: (u, v) \rightarrow (s, t)$  を求め、座標変換として出力する。

【0145】本実施例では、変換  $f$  を求める処理として次の手法を用いる。

【0146】ここで、物体表面各点の色を、その点のテクスチャ座標  $(s, t)$  と 1 対 1 で対応するように設定し、描画を行えば、描画された画像の各画素  $(u, v)$  の色から  $(u, v) \rightarrow (s, t)$  の対応関係を求める。例えば、色の赤、緑、青成分を表す RGB 値はフルカラー表示が可能なコンピュータでは 0 から 255 の値が設定でき、テクスチャ座標  $(s, t)$  は、本実施例では -90 から 90 の範囲の値である。

【0147】そこで、テクスチャ座標が  $(s, t)$  である点に次の色を設定する。

$$R = (s + 90) * 255 / 180$$

$$G = (t + 90) * 255 / 180$$

このようにして生成された画像の各画素  $(u, v)$  の色から、上式を逆に用いてテクスチャ座標  $(s, t)$  を計算する。

【0148】この方法はあくまで一例であり、その他様々な手法が適用可能であることはいふまでもない。

【0149】そして、基底テクスチャ投影部 21-2 は、前記座標変換を用いて基底画像  $B_i(u, v)$  を計算し、計算された基底画像群  $\{B_i\}$  をまとめて照明変動空間  $S$  として出力する。

【0150】第 2 の実施例

図 7 に示した第 2 の実施の形態を適応した第 2 の実施例について説明する。本実施例は、姿勢候補が複数の候補として離散的に与えられるのではなく、ある姿勢とその誤差あるいは変動の指定された範囲、あるいは位置と姿勢を示す各パラメタの指定された範囲というように、一つ又は複数の連続的な領域として与えられた場合に、該姿勢候補領域内で最適な姿勢を求める実施例である。

【0151】本実施例では、物体の概略の位置と向きが

$T_x = 0 \text{ mm}$ ,  $T_y = 50 \text{ mm}$ ,  $T_z = 100 \text{ mm}$ ,  $R_x = 0^\circ$ ,  $R_y = 20^\circ$ ,  $R_z = 40^\circ$  であることがわかっており、その誤差が平行移動量で 10 mm、回転で  $5^\circ$  以下であるとわかっている場合を例に説明する。

【0152】認識部 20 の姿勢候補群決定部 26 は、入力された誤差範囲内で、姿勢候補の各パラメタを変動させることにより得られる複数の姿勢候補を生成し、姿勢候補群として出力する。

【0153】本実施例では、例えば一例として、 $x$  が -10 から 10、 $y$  が 40 から 60、 $z$  が 90 から 110、 $R_x$  が -5 から 5、 $R_y$  が 15 から 25、 $R_z$  が 35 から 45 の範囲で、各  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  は 5 mm、 $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  は  $5^\circ$  間隔に値を設定して、合計  $5^3 \times 3^3 = 3375$  個の姿勢候補を生成する。この他の処理は、全て第 1 の実施例と同様である。

【0154】第 3 の実施例

図 9 に示した第 3 の実施の形態を適応した第 3 の実施例について説明する。本実施例では、第 2 の実施例の認識部の認識結果である最適姿勢候補を初期の姿勢候補に置き換えて認識処理を繰り返すことを特徴とする。

【0155】また、本実施例の姿勢候補群決定部 26 は、姿勢候補の各パラメタを予め決めた少しの量ずつ変動させて複数の姿勢候補を生成し、その中から最適な候補を選択し、最適姿勢候補を再び姿勢候補として処理を繰り返していくことにより、徐々に最適な姿勢候補を求めていく。これにより、より計算量を減らして効率よく最適姿勢候補を求めることができる。

【0156】ここでは一例として、物体の概略の位置と向きが  $T_x = 0 \text{ mm}$ ,  $T_y = 50 \text{ mm}$ ,  $T_z = 100 \text{ mm}$ ,  $R_x = 0^\circ$ ,  $R_y = 20^\circ$ ,  $R_z = 40^\circ$  であることがわかっており、 $x$ ,  $y$ ,  $z$  の変化量を 1 mm、 $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  の変化量を  $1^\circ$  とする。

【0157】まず、姿勢候補群決定部 26 b は、 $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ,  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  の 6 つのパラメタの中からそれぞれ一つを選んで  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  なら 1 mm を、 $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  なら  $1^\circ$  を増加又は減少させた姿勢候補をそれぞれ生成する。すなわち、合計で  $2 \times 6 = 12$  個の姿勢候補を生成し、姿勢候補群として出力する。

【0158】照明変動空間生成部 21 から姿勢選択部 23 の処理 (ステップ 210 ~ 230) は、全て第 2 の実施の形態と同様である。12 個の各姿勢候補に対し、比較画像を生成し、最も入力画像に近い画像を生成した姿勢候補を選択して最適姿勢候補として出力する。

【0159】終了判定部 28 は、前回の最適姿勢候補から生成された比較画像と、入力画像の類似度を記憶しておき、現在の最適姿勢候補から生成された比較画像と入力画像の類似度と比較する。この類似度が高くなっている場合、処理を打ち切る。類似度が高くなっている場合には、現在の最適姿勢候補を姿勢候補として置き換

え、姿勢候補群決定部26以下の処理（ステップ260～ステップ280）を繰り返し行う。この他の処理は、全て第2の実施例と同様である。

#### 【0160】第4の実施例

図11に示した第4の実施の形態を適応した第4の実施例について、その処理例である図18を参照して説明する。本実施例は、位置や姿勢を物体の特徴的な見え方をする部位の位置情報に基づいて決定するが、従来の技術と異なり、最適な姿勢解の選択・決定は、特徴点位置ではなく、入力画像と比較画像の濃淡情報をそのまま比較することにより行う。本実施例では、一例として人間の顔を対象物体として用い、図18の12個の特徴点を用いる場合について述べる。

【0161】本実施例の登録部10cは、前述のように第1の実施の形態の構成に加えて、特徴点3次元位置入力部15と、特徴点3次元位置記憶部16を備えている。

【0162】特徴点3次元位置入力部15は、測定した前記3次元形状と反射率を参照し、目尻の位置など図18に示す12個の特徴点の位置を入力する。この特徴点の位置の入力は、ユーザがコンピュータを用いて画面に表示された物体を見ながら手動で位置を指示して行うこともできるし、自動的に行う様々な手法を利用することももちろん可能である。一例として、図16の右図に示したようなテクスチャ画像をコンピュータの画面に表示し、ユーザが各特徴点の位置を画面上で指示していくという方法が利用可能である。

【0163】特徴点3次元位置記憶部16は、前記入力された12個の特徴点の、3次元座標を記憶する。

【0164】また本実施例の認識部20cは、前述のように第1の実施の形態の構成に加えて、特徴点位置抽出部24と、姿勢計算部25を備えている。

【0165】特徴点位置抽出部24は、図18の12個の特徴点の入力画像における位置を抽出し、入力画像特徴点位置として出力する。この物体特徴点の位置の入力は、ユーザがコンピュータを用いて画面に表示された入力画像を見ながら手動で位置を指示して行うこともできるし、自動的に行う様々な技術を適用可能である。本実施例では、一例として、入力画像が不鮮明であったために、12個の特徴点の内、両目と口中央の位置である図18の1、4、10の3点の位置しか入力できなかった例を説明する。

【0166】姿勢計算部25は、特徴点3次元位置記憶部16から特徴点3次元位置を読み込み、前記入力画像特徴点位置に前記特徴点3次元位置にある物体特徴点が投影されるような、位置姿勢のパラメタを計算し、計算された位置姿勢パラメタ群を姿勢候補群として出力する。

【0167】例えば、従来の透視n点問題の技術を用いることにより、3点の特徴点の入力画像上の位置と3次

元座標が得られているので、最大4つの姿勢候補が計算できる。これらの姿勢候補を姿勢候補群として出力する。

【0168】この他の処理は、全て第1の実施例と同様である。

#### 【0169】第5の実施例

図12に示した第5の実施の形態を適応した第5の実施例について、その処理例である図12、図13を参照して説明する。本実施例は、第2の実施例において更に、姿勢候補の計算を入力画像の特徴点の位置に基づいて行う点、及び、姿勢候補の誤差の範囲を、入力画像からの特徴点位置の抽出誤差に基づいて決定する点が異なる。また、本実施例でも、第4の実施例と同様に人間の顔を対象物体とする例を説明する。

【0170】本実施例では、前述のように第2の実施の形態の構成に加えて、認識部20dに、特徴点位置抽出部24と、姿勢範囲決定部27を備えている。

【0171】特徴点位置抽出部24は、図18の12の物体特徴点の入力画像における位置を抽出し、入力画像特徴点位置として出力する。この物体特徴点の位置の入力は、ユーザがコンピュータを用いて画面に表示された入力画像を見ながら手動で位置又は範囲を指示して行うこともできるし、自動的に行う様々な技術を適用可能である。また同時に、抽出した特徴点の位置の誤差の範囲を特徴点誤差範囲として出力する。一例として、図18の12個の特徴点の内1、4、10の3つの特徴点のみが入力されており、それぞれの特徴点誤差範囲が5画素以下であると推定されている場合を説明する。

【0172】姿勢範囲決定部27は、前記特徴点誤差範囲を用いて、前記姿勢計算部25で用いたのと同様に透視n点問題の技術などを利用して計算される姿勢候補のパラメタが、誤差として変動する可能性のある範囲を推定し、姿勢候補範囲として出力する。これには様々な手法が適用可能であるが、一例として数値シミュレーションを用いる次のような手法が利用可能である。

【0173】本実施例では図18の特徴点1、4、10が入力されており、それぞれ誤差が5画素以内と推定されている。したがって、各特徴点の位置を入力された位置を中心とする半径5画素の円内でランダムに変動させて、多数の姿勢候補を計算する。例えば、100回の特徴点位置を変動させる試行を繰り返し、100個の姿勢候補を計算する。そして、各姿勢候補の姿勢パラメタ $T_x$ 、 $T_y$ 、 $T_z$ 、 $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_z$ の値を調べ、それぞれのパラメタの分布領域を調べる。該分布領域を姿勢候補範囲として出力する。

【0174】上記の姿勢候補範囲の推定方法は一例であり、この他にも姿勢の計算に用いる計算式を解析して誤差範囲を求めたり、様々な手法が適用可能である。

【0175】姿勢候補群決定部26以下の処理は、全て第2の実施の形態と同様である。

【0176】また、本発明の位置姿勢認識装置は、上述の各実施の形態及び実施例のように装置内に登録部と認識部の双方を備える方式に限らず、図15に示すように、位置姿勢認識装置100e内には認識部20のみを備えて、登録部10を備える外部の3次元物体モデル登録装置300から、物体の3次元モデルのデータの入力を受け付ける方式も同様にして実施することができる。

【0177】また、上記各実施の形態及び実施例は、互いに様々に組み合わせて実施することができる。

【0178】なお、本実施の形態の位置姿勢認識装置100、100a、100b、100c、100d、100eや、3次元物体モデル登録装置300は、登録部10、10c、10dにおける形状・反射率測定部11、照明変動テクスチャ生成部12、基底テクスチャ計算部13、特徴点3次元位置入力部15の機能や、認識部20、20a、20b、20c、20dにおける照明変動空間生成部21、投影変換決定部21-1、基底テクスチャ投影部21-2、比較画像生成部22、姿勢選択部23、特徴点位置抽出部24、姿勢計算部25、姿勢候補群決定部26、姿勢範囲決定部27、終了判定部28の機能や、その他の機能をハードウェア的に実現することは勿論として、各機能を備えるコンピュータプログラムである位置姿勢認識プログラムを、コンピュータ処理装置のメモリにロードされることで実現することができる。この位置姿勢認識プログラムは、磁気ディスク、半導体メモリその他の記録媒体90、91、92、93、94、95、99に格納される。そして、その記録媒体からコンピュータ処理装置にロードされ、コンピュータ処理装置の動作を制御することにより、上述した各機能を実現する。

【0179】以上好ましい実施の形態及び実施例をあげて本発明を説明したが、本発明は必ずしも上記実施の形態及び実施例に限定されるものではなく、その技術的思想の範囲内において様々に変形して実施することができる。

#### 【0180】

【発明の効果】以上説明したように本発明の位置姿勢認識装置とその位置姿勢認識方法、及び位置姿勢認識プログラムによれば、以下のような効果が達成される。

【0181】第1に、本発明によれば、様々な位置姿勢、照明条件の下で撮影された認識対象の画像に対して、正しい物体の位置姿勢を決定することができる。特に、認識対象の画像と物体の3次元モデルの間の特徴点の対応が利用できない場合にも、正しい物体の位置姿勢を決定することができる。

【0182】第2に、本発明によれば、認識対象の画像から特徴点の位置を抽出して画像中の物体の位置姿勢を計算する場合に、入力された特徴点位置が誤差を含んでも、正しい位置姿勢を認識することができる。

【0183】第3に、本発明によれば、特徴点が3点し

か抽出できなかつたり、特徴点が特別な配置にあつて位置姿勢が一意に計算できない場合にも、本発明の技術を用いることで正しい位置姿勢を認識することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態による位置姿勢認識装置の構成を示すブロック図である。

【図2】 本発明の第1の実施の形態による位置姿勢認識装置の処理の概略を示す図である。

【図3】 本発明の第1の実施の形態による位置姿勢認識装置の構成の概略を示すブロック図である。

【図4】 本発明の第1の実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【図5】 本発明の第1の実施の形態の照明変動空間生成部の構成を示すブロック図である。

【図6】 本発明の第1の実施の形態の照明変動空間生成の処理を説明するためのフローチャートである。

【図7】 本発明の第2の実施の形態による位置姿勢認識装置の構成を示すブロック図である。

【図8】 本発明の第2の実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【図9】 本発明の第3の実施の形態による位置姿勢認識装置の構成を示すブロック図である。

【図10】 本発明の第3の実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【図11】 本発明の第4の実施の形態による位置姿勢認識装置の構成を示すブロック図である。

【図12】 本発明の第4の実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【図13】 本発明の第5の実施の形態による位置姿勢認識装置の構成を示すブロック図である。

【図14】 本発明の第5の実施の形態の位置姿勢認識の処理を説明するためのフローチャートである。

【図15】 本発明のその他の実施の形態による位置姿勢認識装置と3次元物体モデル登録装置の構成を示すブロック図である。

【図16】 テクスチャ座標の定義方法の一例を説明する図である。

【図17】 物体に対する光源の方向の定義の一例を説明する図である。

【図18】 顔を対象物体にするときに用いる特徴点の位置の一例を説明する図である。

【図19】 従来の技術の、透視n点問題を解く技術の処理の流れを説明する図である。

【図20】 従来の技術の、文献3の技術の処理の流れを説明する図である。

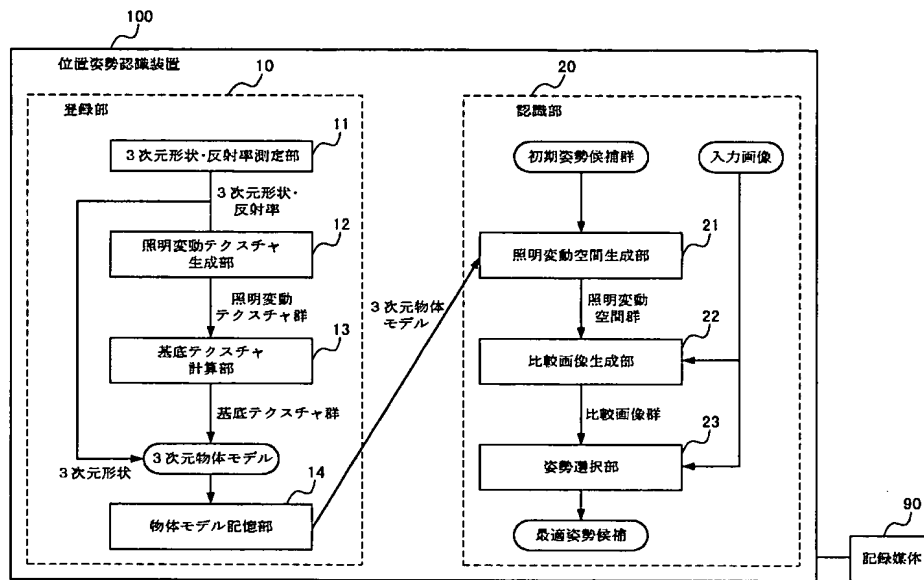
#### 【符号の説明】

100、100a、100b、100c、100d、100e 位置姿勢認識装置  
300 3次元物体モデル登録装置  
10、10c、10d 登録部

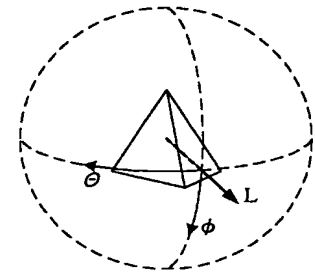
- 1 1 形状・反射率測定部
- 1 2 照明変動テクスチャ生成部
- 1 3 基底テクスチャ計算部
- 1 4 物体モデル記憶部
- 1 5 特徴点3次元位置入力部
- 1 6 特徴点3次元位置記憶部
- 2 0、2 0 a、2 0 b、2 0 c、2 0 d 認識部
- 2 1 照明変動空間生成部
- 2 1 - 1 投影変換決定部

- 2 1 - 2 基底テクスチャ投影部
- 2 2 比較画像生成部
- 2 3 姿勢選択部
- 2 4 特徴点位置抽出部
- 2 5 姿勢計算部
- 2 6 姿勢候補群決定部
- 2 7 姿勢範囲決定部
- 2 8 終了判定部
- 9 0、9 1、9 2、9 3、9 4、9 5、9 9 記録媒体

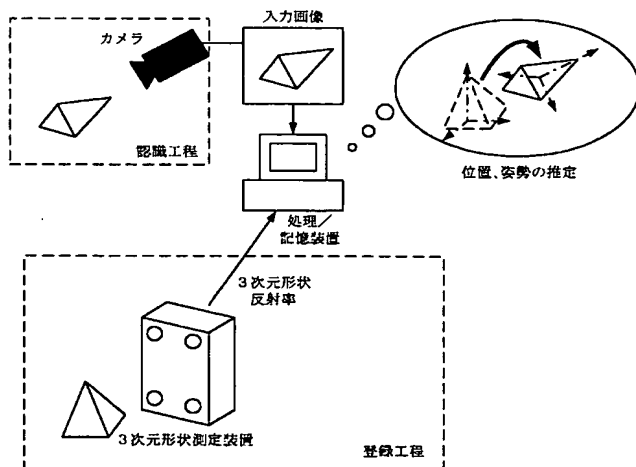
【図1】



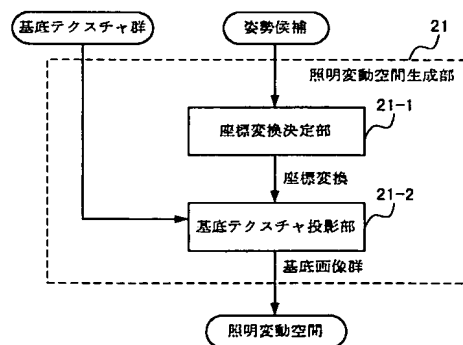
【図17】



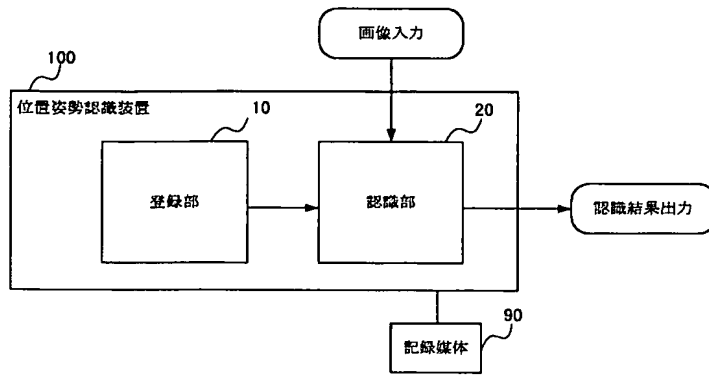
【図2】



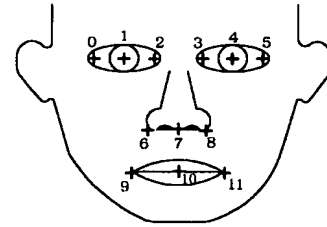
【図5】



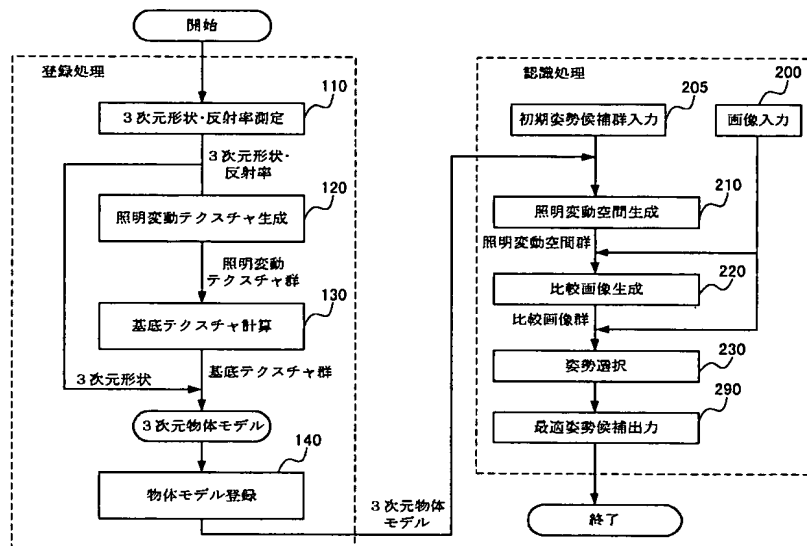
【図3】



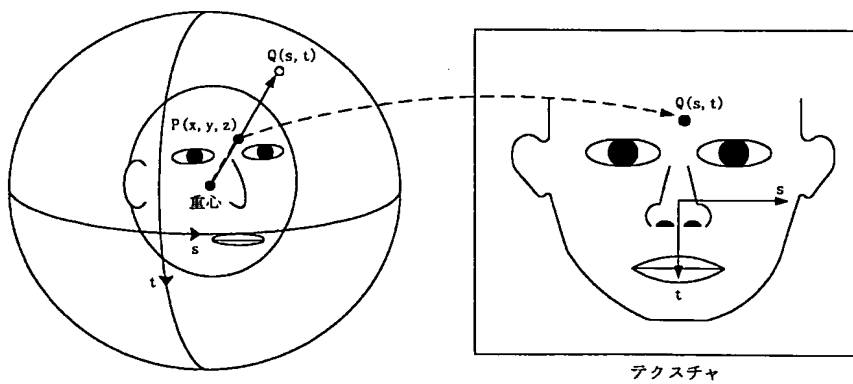
【図18】



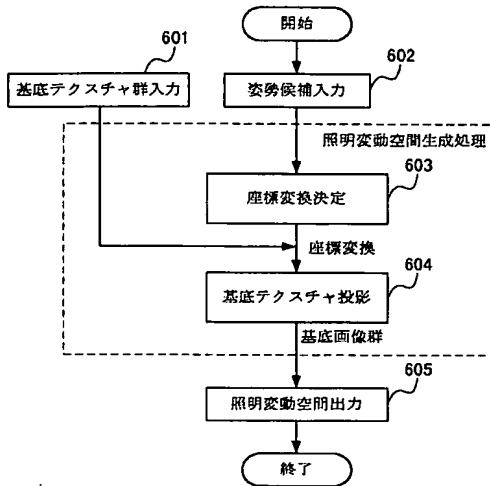
【図4】



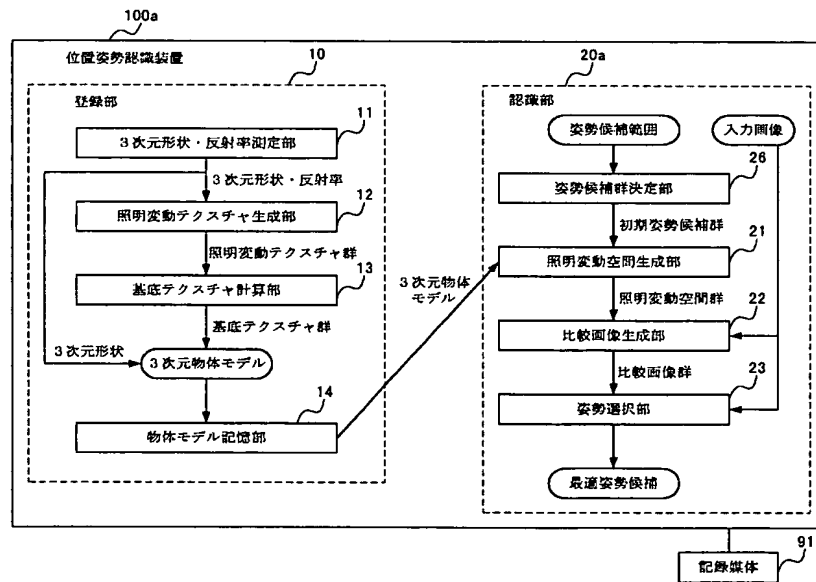
【図16】



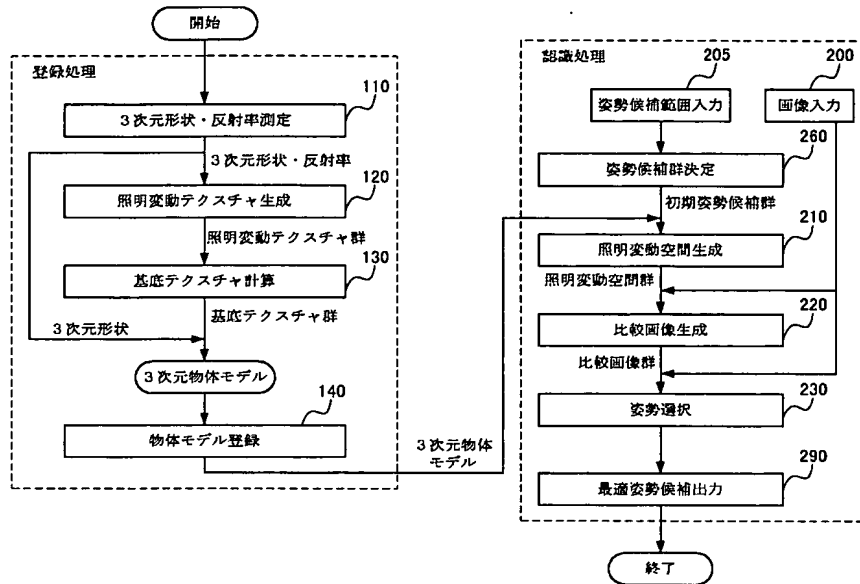
【図6】



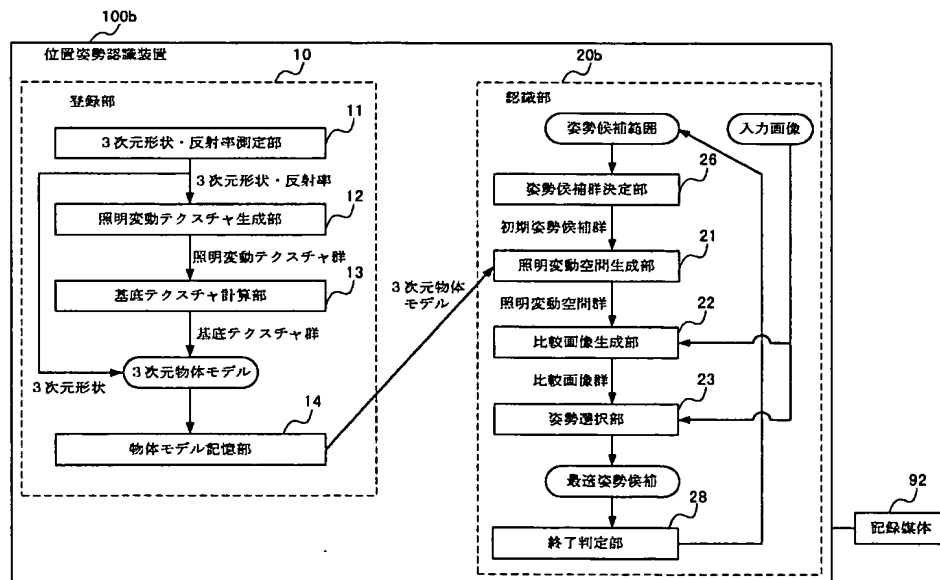
【図7】



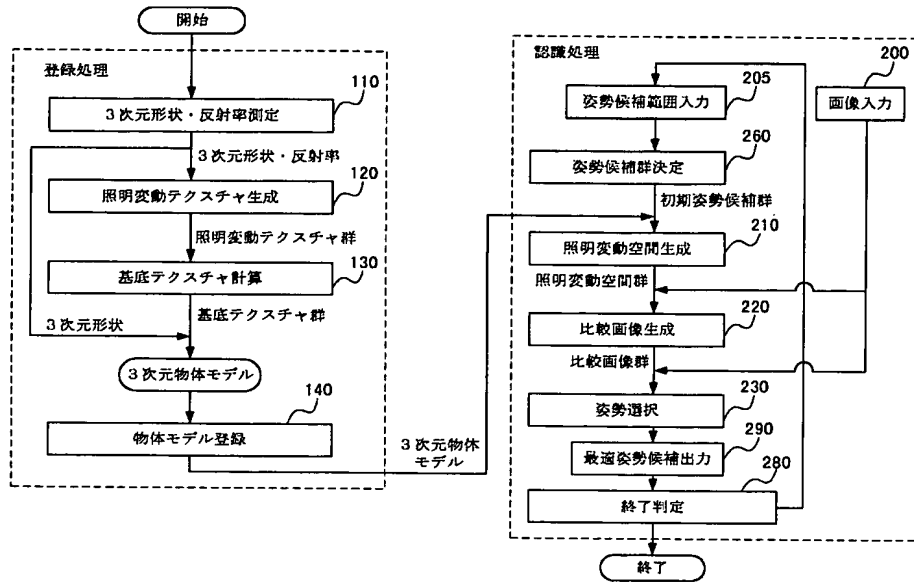
【図 8】



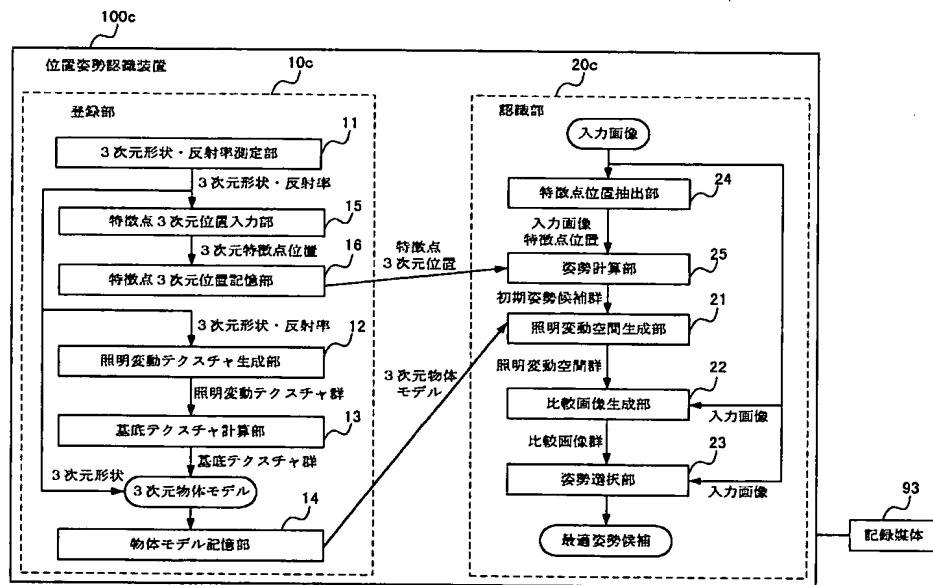
【図 9】



【図10】



【図11】



```

graph TD
    Start([開始]) --> S1[登録処理]
    subgraph S1 [登録処理]
        S1_1[3次元形状・反射率測定 110] --> S1_2[3次元形状・反射率]
        S1_2 --> S1_3[特徴点3次元位置入力 150]
        S1_3 --> S1_4[3次元特徴点位置 160]
        S1_4 --> S1_5[特徴点3次元位置記憶]
        S1_5 --> S1_6[3次元形状・反射率 120]
        S1_6 --> S1_7[照明変動テクスチャ生成]
        S1_7 --> S1_8[照明変動テクスチャ群 130]
        S1_8 --> S1_9[基底テクスチャ計算]
        S1_9 --> S1_10[基底テクスチャ群]
    end
    S1_10 --> S2([3次元物体モデル 140])
    S2 --> S3[物体モデル登録 150]
    S3 --> S4[認識処理]
    
    subgraph S4 [認識処理]
        S4_1[画像入力 200] --> S4_2[特徴点位置抽出 240]
        S4_2 --> S4_3[入力画像特徴点位置 250]
        S4_3 --> S4_4[姿勢計算 250]
        S4_4 --> S4_5[初期姿勢候補群 210]
        S4_5 --> S4_6[照明変動空間生成]
        S4_6 --> S4_7[照明変動空間群]
        S4_7 --> S4_8[比較画像生成 220]
        S4_8 --> S4_9[比較画像群]
        S4_9 --> S4_10[姿勢選択 230]
        S4_10 --> S4_11[最適姿勢候補出力 290]
    end
    S4_11 --> End([終了])
    
    S1_4 -- 特徴点 3次元位置 --> S4_2
    S1_10 -- 3次元物体モデル --> S4_6
  
```

The flowchart illustrates a process for 3D object model registration and recognition. It begins with a 'Start' node, leading into the 'Registration Process' (登録処理). This process involves several steps: 3D shape and reflectance measurement (110), 3D shape and reflectance (120), input of feature point 3D positions (150), 3D feature point positions (160), memory of feature point 3D positions, generation of illumination variation texture (120), illumination variation texture group (130), calculation of base texture (130), base texture group, and finally the 3D object model (140) and its registration (150). The process then transitions to the 'Recognition Process' (認識処理). This process starts with image input (200), followed by feature point position extraction (240), input image feature point position (250), posture calculation (250), initial posture candidate group (210), illumination variation space generation, illumination variation space group, comparison image generation (220), comparison image group, posture selection (230), and optimal posture candidate output (290). The process concludes with an 'End' node. Key data flows include the 3D feature point positions (160) being used for feature point position extraction (240), and the 3D object model (140) being used for illumination variation space generation.

Figure 1 is a block diagram of the posture estimation system 10d. The system is divided into two main sections: the registration section (登録部) and the recognition section (認識部).

**Registration Section (登録部):**

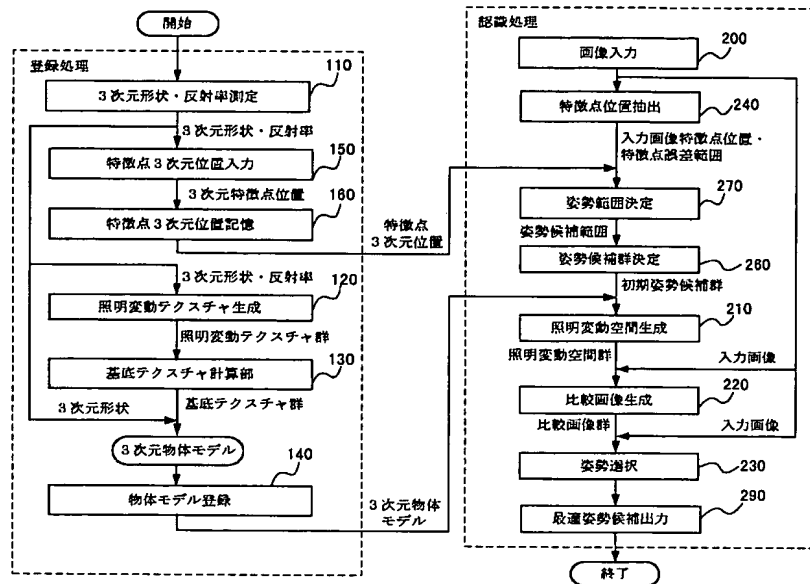
- 3次元形状・反射率測定部 (3D shape and reflectance measurement unit) 11
- 3次元形状・反射率 (3D shape and reflectance) 15
- 特徴点3次元位置入力部 (Feature point 3D position input unit) 16
- 特徴点3次元位置記憶部 (Feature point 3D position storage unit) 12
- 3次元形状・反射率 (3D shape and reflectance) 12
- 照明変動テクスチャ生成部 (Lighting fluctuation texture generation unit) 13
- 照明変動テクスチャ群 (Lighting fluctuation texture group) 13
- 基底テクスチャ計算部 (Base texture calculation unit) 14
- 基底テクスチャ群 (Base texture group) 14
- 3次元形状 (3D shape) 14
- 3次元物体モデル (3D object model) 14
- 物体モデル記憶部 (Object model storage unit) 14

**Recognition Section (認識部):**

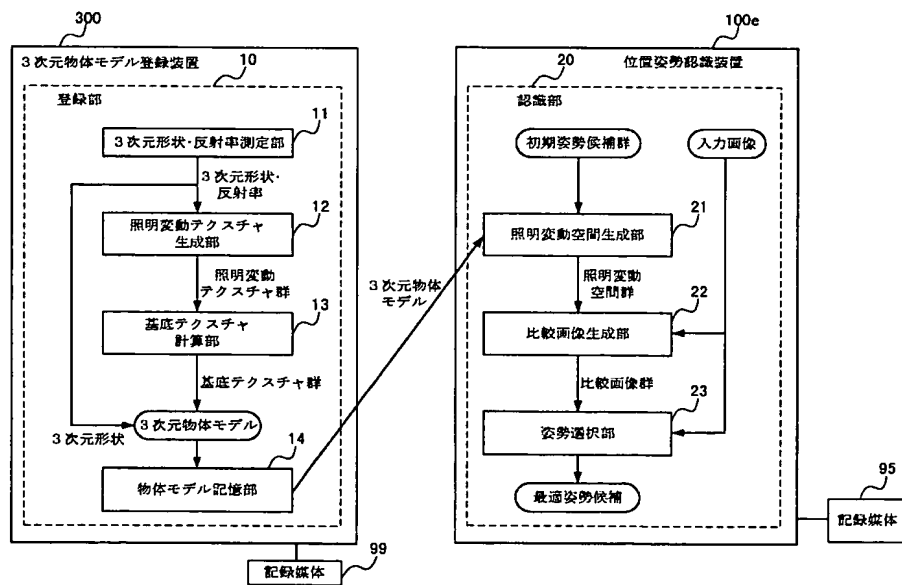
- 入力画像 (Input image) 24
- 特徴点位置抽出部 (Feature point position extraction unit) 24
- 入力画像 特徴点位置 (Input image feature point position) 27
- 姿勢範囲決定部 (Posture range determination unit) 27
- 姿勢候補範囲 (Posture candidate range) 27
- 特徴点 許差範囲 (Feature point tolerance range) 27
- 姿勢候補群決定部 (Posture candidate group determination unit) 26
- 初期姿勢候補群 (Initial posture candidate group) 21
- 照明変動空間生成部 (Lighting fluctuation space generation unit) 21
- 照明変動空間群 (Lighting fluctuation space group) 22
- 比較画像生成部 (Comparison image generation unit) 23
- 入力画像 比較画像群 (Input image comparison image group) 23
- 姿勢選択部 (Posture selection unit) 23
- 入力画像 (Input image) 23
- 最適姿勢候補 (Optimal posture candidate) 23

Arrows indicate the flow of data and processing steps between these components. The system also includes a recording unit (記録媒体 94) connected to the recognition section.

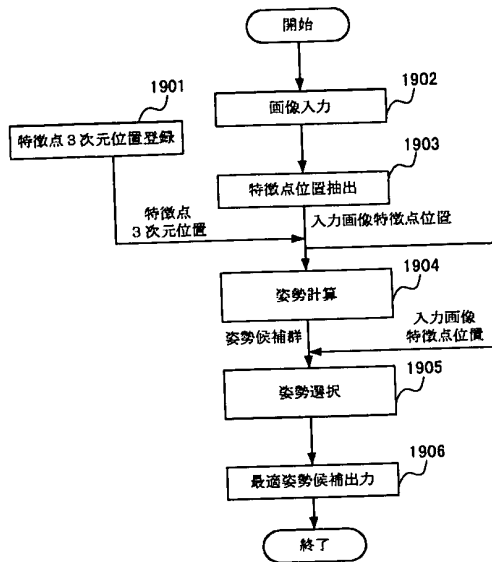
【図 14】



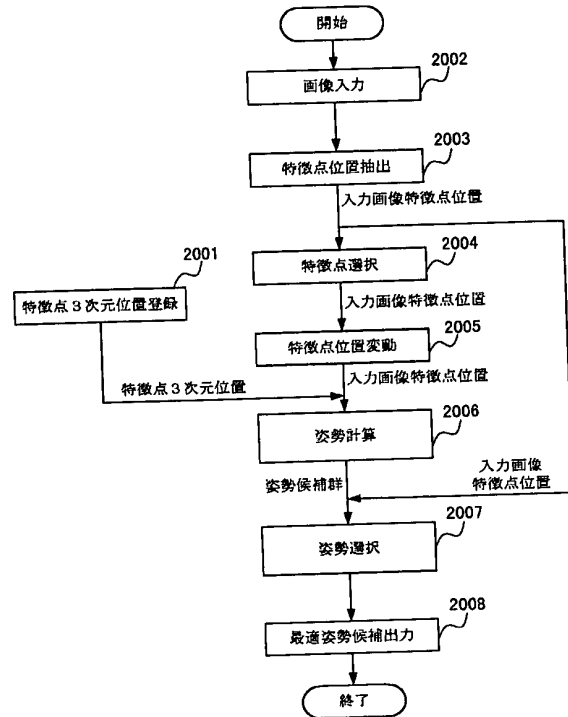
【図 15】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 6 T 7/00識別記号  
3 0 0F I  
G 0 1 B 11/24

テーマコード(参考)

K  
A